This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at http://books.google.com/

Acerca de este libro

Esta es una copia digital de un libro que, durante generaciones, se ha conservado en las estanterías de una biblioteca, hasta que Google ha decidido escanearlo como parte de un proyecto que pretende que sea posible descubrir en línea libros de todo el mundo.

Ha sobrevivido tantos años como para que los derechos de autor hayan expirado y el libro pase a ser de dominio público. El que un libro sea de dominio público significa que nunca ha estado protegido por derechos de autor, o bien que el período legal de estos derechos ya ha expirado. Es posible que una misma obra sea de dominio público en unos países y, sin embargo, no lo sea en otros. Los libros de dominio público son nuestras puertas hacia el pasado, suponen un patrimonio histórico, cultural y de conocimientos que, a menudo, resulta difícil de descubrir.

Todas las anotaciones, marcas y otras señales en los márgenes que estén presentes en el volumen original aparecerán también en este archivo como testimonio del largo viaje que el libro ha recorrido desde el editor hasta la biblioteca y, finalmente, hasta usted.

Normas de uso

Google se enorgullece de poder colaborar con distintas bibliotecas para digitalizar los materiales de dominio público a fin de hacerlos accesibles a todo el mundo. Los libros de dominio público son patrimonio de todos, nosotros somos sus humildes guardianes. No obstante, se trata de un trabajo caro. Por este motivo, y para poder ofrecer este recurso, hemos tomado medidas para evitar que se produzca un abuso por parte de terceros con fines comerciales, y hemos incluido restricciones técnicas sobre las solicitudes automatizadas.

Asimismo, le pedimos que:

+ *Haga un uso exclusivamente no comercial de estos archivos* Hemos diseñado la Búsqueda de libros de Google para el uso de particulares; como tal, le pedimos que utilice estos archivos con fines personales, y no comerciales.

+ *No envíe solicitudes automatizadas* Por favor, no envíe solicitudes automatizadas de ningún tipo al sistema de Google. Si está llevando a cabo una investigación sobre traducción automática, reconocimiento óptico de caracteres u otros campos para los que resulte útil disfrutar de acceso a una gran cantidad de texto, por favor, envíenos un mensaje. Fomentamos el uso de materiales de dominio público con estos propósitos y seguro que podremos ayudarle.

+ *Conserve la atribución* La filigrana de Google que verá en todos los archivos es fundamental para informar a los usuarios sobre este proyecto y ayudarles a encontrar materiales adicionales en la Búsqueda de libros de Google. Por favor, no la elimine.

+ *Manténgase siempre dentro de la legalidad* Sea cual sea el uso que haga de estos materiales, recuerde que es responsable de asegurarse de que todo lo que hace es legal. No dé por sentado que, por el hecho de que una obra se considere de dominio público para los usuarios de los Estados Unidos, lo será también para los usuarios de otros países. La legislación sobre derechos de autor varía de un país a otro, y no podemos facilitar información sobre si está permitido un uso específico de algún libro. Por favor, no suponga que la aparición de un libro en nuestro programa significa que se puede utilizar de igual manera en todo el mundo. La responsabilidad ante la infracción de los derechos de autor puede ser muy grave.

Acerca de la Búsqueda de libros de Google

El objetivo de Google consiste en organizar información procedente de todo el mundo y hacerla accesible y útil de forma universal. El programa de Búsqueda de libros de Google ayuda a los lectores a descubrir los libros de todo el mundo a la vez que ayuda a autores y editores a llegar a nuevas audiencias. Podrá realizar búsquedas en el texto completo de este libro en la web, en la página `http://books.google.com`

$B 26 558

Water Engineering

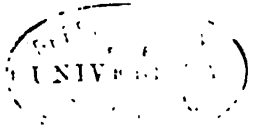
REESE LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF CALIFORNIA.

Received July, 1888

Accessions No. 37282 Shelf No.

AGUAS Y RIEGOS

TOMO I



TRATADO

DE

AGUAS Y RIEGOS

POR

DON ANDRÉS LLAURADÓ

Ingeniero de Montes,
Jefe de primera clase, Profesor de Construccion y Mecánica aplicada
en la Escuela especial del Cuerpo,
Comendador de las Reales Ordenes españolas de Carlos III é Isabel la Católica,
Oficial de la Orden de San Lázaro y San Mauricio de Italia,
de la Orden francesa del Mérito agrícola,
Oficial de Academia de Francia, Caballero de la Orden de Cristo de Portugal,
correspondiente de las Reales Academias de Ciencias de Madrid,
Barcelona y Lisboa y de la de Agricultura de Turin,
de la Sociedad nacional de Agricultura de Francia,
de la Imperial económica de San Petersburgo,
de la Imperial agronómica de la Rusia meridional (Odessa),
de la Sociedad agraria de Lombardía (Milán),
del Comicio agrario de Cuneo (Piamonte),
de la Sociedad de Horticultura del Estado de California (Estados-Unidos),
de la Sociedad francesa para el estímulo de la industria nacional,
etc., etc.

TOMO I

SEGUNDA EDICION CORREGIDA Y AUMENTADA

UNIVER. CALIFORNIA.

MADRID
IMPRENTA DE MORENO Y ROJAS
calle de Isabel la Católica, 10.

1884

TC 657
.L5
v.1

Es propiedad del autor.

1282

A LA PIADOSA MEMORIA

DEL

DOCTOR DON ANTONIO RAVE Y BERGNES

CATEDRÁTICO QUE FUÉ DE FÍSICA EN LA FACULTAD DE CIENCIAS
DE LA UNIVERSIDAD DE BARCELONA

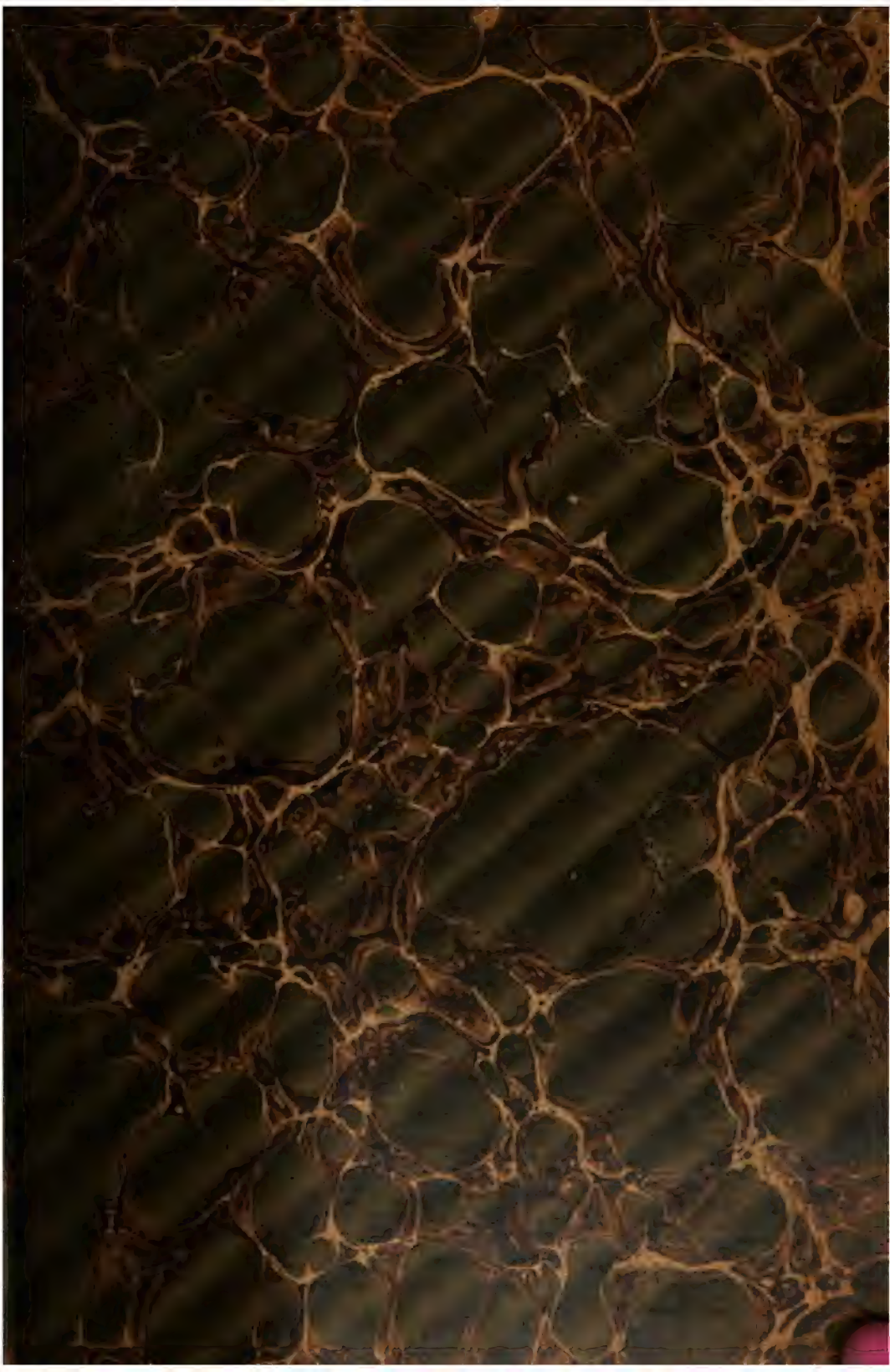
DEDICA ESTA OBRA

UNIVERSITY

Su sobrino y antiguo discípulo,

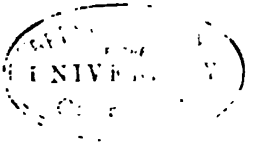
Andrés Llauradó.

Water Engineering
REESE LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF CALIFORNIA.
Received July, 1888
Accessions No. 37282 Shelf No.



AGUAS Y RIEGOS

TOMO I



TRATADO

DE

AGUAS Y RIEGOS

POR

DON ANDRÉS LLAURADÓ

Ingeniero de Montes,
Jefe de primera clase, Profesor de Construccion y Mecánica aplicada
en la Escuela especial del Cuerpo,
Comendador de las Reales Ordenes españolas de Carlos III é Isabel la Católica,
Oficial de la Orden de San Lázaro y San Mauricio de Italia,
de la Orden francesa del Mérito agrícola,
Oficial de Academia de Francia, Caballero de la Orden de Cristo de Portugal,
correspondiente de las Reales Academias de Ciencias de Madrid,
Barcelona y Lisboa y de la de Agricultura de Turin,
de la Sociedad nacional de Agricultura de Francia,
de la Imperial económica de San Petersburgo,
de la Imperial agronómica de la Rusia meridional (Odessa),
de la Sociedad agraria de Lombardía (Milán),
del Comicio agrario de Cuneo (Piamonte),
de la Sociedad de Horticultura del Estado de California (Estados-Unidos),
de la Sociedad francesa para el estímulo de la industria nacional,
etc., etc.

TOMO I

SEGUNDA EDICION CORREGIDA Y AUMENTADA

REES[illegible]ARY
OF THE
UNIVER[illegible]
CALIFORNIA.

MADRID
IMPRENTA DE MORENO Y ROJAS
calle de Isabel la Católica, 10.

1884

nos de Lorca, y la ejecucion de otras muchas obras hidráulicas de importancia suma para el acrecentamiento de la riqueza y bienestar general, con tan solícito afan atendidos por aquel esclarecido monarca.

Merecen citarse como obras importantes ejecutadas durante el reinado de Fernando VII, la construccion del canal de Castaños ó de la Infanta Doña Luisa Carlota para el riego de la vega izquierda del Llobregat, y la prolongacion en una gran parte del canal de Castilla; y en el reinado de Doña Isabel II, se registran, por fin, la terminacion del canal de Castilla, la construccion de los canales de riego de Urgel, del Henares, Esla, Cherta, el de abastecimiento y riego del Lozoya, y de otras muchísimas obras de análogo carácter, que, aunque individualmente ménos importantes, han llevado en conjunto un fuerte contingente al aumento de la prosperidad nacional, con tan visibles caracteres marcado en la época contemporánea.

II

CONSIDERACIONES ECONÓMICAS

Las breves consideraciones históricas que preceden revelan desde luégo el interés que en todas épocas ha merecido en España á los gobiernos y á los pueblos el aprovechamiento de las aguas que sin utilidad alguna discurren por el álveo de nuestros rios.

No llenaríamos, sin embargo, el objeto que en esta *Introduccion* á nuestro modesto trabajo nos hemos propuesto, si, limitándonos á bosquejar el cuadro de las obras útiles que con aplicacion al riego nos legaron los pasados tiempos, no intentáramos analizar, aunque sea brevemente, los caracteres que revisten algunas de las grandes empresas realizadas y los negocios de riegos en general, para poder deducir las leyes económicas por que estos se rigen.

El esfuerzo colectivo, dirigido á la realizacion de los grandes proyectos de riegos, ha obrado en España prodigios en todos tiempos; y las obras ejecutadas han ofrecido materia digna de estudio y alabanza á varios extranjeros inteligentes que con este especial objeto han sido comisionados para estudiar nuestra costa de Levante. Obras colosales llevadas á cabo con el generoso y patriótico deseo de aumentar las fuentes de la riqueza son, entre otras, los célebres pantanos de Tibi y Lorca: alardes más ó ménos felices del viril esfuerzo de la actividad individual ó colectiva nos ofrece la historia, que en otro lugar reseñaremos, de los canales de Tauste é

Imperial de Aragon en los pasados siglos, y de los de Urgel, Cherta, Henares y Esla en el período contemporáneo.

Cuando la actividad individual y la colectiva se han movido dentro de su verdadera órbita, la riqueza privada y la prosperidad pública han participado por igual de los beneficios creados por su accion fecunda: cuando, desconociendo su alcance, han traspasado los límites que la naturaleza misma de la empresa les impone, la penuria primero, y la ruina y el descrédito más tarde, han sido el triste remate de los proyectos nacidos al calor de una idea generosa.

Sin la potente accion del Estado no hubiera salido de la categoría de un bello proyecto la importantísima arteria que con el nombre de canal Imperial de Aragon difunde la riqueza por una extensa zona de la vega central del Ebro; y el canal de Tauste, que, gracias al auxilio prestado por el Gobierno de Carlos III, esparce hoy las aguas del mismo rio por la opuesta márgen dando vida á una privilegiada comarca, acaso no fuera actualmente más que cegado surco de la antigua é imperfecta acequia que pasadas generaciones abrieron, sin calcular bastante la magnitud del sacrificio que su valeroso aliento les impusiera.

Propósito superior al alcance de la especulacion privada es igualmente el que ha intentado realizar en nuestros dias la empresa del canal de Urgel, llevando las aguas del Segre á la extensa zona que aquél domina, con la legítima esperanza de resarcirse con los productos del riego de los inmensos sacrificios que tan grandiosa obra ha exigido. Los resultados obtenidos, léjos de corresponder á las halagüeñas esperanzas que la empresa concibiera, ofrecen, por el contrario, todos los caracteres de un negocio ruinoso para la especulacion privada, sin que hayan podido evitarlo los inteligentes esfuerzos de la compañía, impotentes contra obstáculos

que reconocen por orígen la magnitud misma del proyecto y el lento desarrollo de la riqueza explotable.

Por el breve relato que ántes hemos hecho de las principales obras hidráulicas ejecutadas en el período contemporáneo, se há puesto ya de manifiesto que la actividad privada ha buscado tambien en estos últimos años los medios de fomentar la agricultura con el aprovechamiento de las aguas que, corriendo libres por el cauce de nuestros rios, ú ocultas en sus propias arenas, van á perderse inútilmente en el seno de los mares.

En el período de diez y seis años, que media entre 1856 y 1872 se han solicitado 135 autorizaciones para practicar estudios de canales de riego, sin que conste se hayan presentado á la aprobacion los respectivos proyectos; otra multitud de concesiones dieron un paso más y quedaron en proyecto; pocas han pasado á la categoría de hechos realizados, y de las comprendidas en este último grupo, que por su magnitud hayan revestido cierto carácter de importancia, son muy raras las que pueden ser calificadas como negocio ventajoso para las compañías concesionarias. Y es que el interés individual, léjos de ser omnipotente, como con evidente exageracion pretenden algunas escuelas economistas, tiene marcada una esfera propia, cuyos límites no puede salvar sin que se lance á los espacios de la ilusion para estrellarse contra el desengaño y la ruina.

Las empresas de riegos deben agruparse en dos categorías distintas:

1.ª Riegos realizables por el interés privado, individual ó colectivo.

2.ª Empresas sólo asequibles para el Estado.

Prescindiendo de las causas naturales que al desarrollo de los riegos se oponen, en cuyo exámen luégo entraremos, la actividad privada será económicamente posible para llevar los proyectos de riegos al terreno de los hechos, siempre que con los productos del cánon

impuesto á los regantes y con los demás ingresos directos que por la cesion de las aguas perciba la empresa, pueda ésta hacer frente á sus gastos anuales de explotacion del negocio, y reembolsar el tanto por ciento de interés y amortizacion del capital invertido en las obras. Los proyectos que no satisfagan á estas condiciones son necesariamente ruinosos para el interés privado, y aunque no puede sentarse en absoluto que todos deben entrar en la esfera de accion del Estado, porque los recursos de esta entidad social son limitados, puede, sin embargo, afirmarse que en términos generales le son beneficiosos; puesto que además del cánon directo que el Tesoro percibe, recoge tambien por las infinitas mallas del fisco la parte de sedimento que la riqueza creada deposita en cada una de sus múltiples trasformaciones.

Segun el autorizado parecer del actual Director facultativo del canal Imperial de Aragon, esta importante arteria ha dejado al Estado un gravámen anual de seis millones de reales, tomando en cuenta el capital invertido en su establecimiento; y el producto inmediato percibido por aquél como empresa, no pasa, despues de un siglo de explotacion, de la cifra de setecientos mil reales al año. El negocio, sin embargo, léjos de ser ruinoso para el Estado, como lo sería con aquellas condiciones para una empresa particular, ha recompensado con usura el sacrificio que el Estado se impuso, dando vida á una extensa comarca, y creando infinitas fuentes de riqueza que, directa ó indirectamente, ceden todas al Tesoro una parte de sus utilidades. Si el Estado decuplicara el cánon con el objeto de equilibrar el producto directo con el interés del capital invertido, imposibilitaria por caro el aprovechamiento, secando á la vez todas las fuentes de la riqueza. Al decretar el Gobierno los sindicatos en 1848, redujo á la mitad los rendimientos directos del canal, y desde aquella fecha hasta el dia, la

superficie cultivada ha crecido en un tercio, y en otro tercio la intensidad del cultivo: terrenos entónces eriales, porque no podian soportar el gravámen en frutos, son hoy cultivados con esmero, y campos que en aquella fecha se dejaban de barbecho, dan actualmente dos ó tres cosechas al año. Y hé aquí una nueva prueba de que una medida ruinosa para una empresa particular puede rendir al Estado múltiples beneficios.

Sería, sin embargo, un error funesto conceder al Estado el monopolio de esta clase de empresas, tanto, como ya se ha indicado, por lo limitado de sus recursos, como porque con ello se veria privado de la eficaz y poderosa cooperacion de la iniciativa particular, la cual, aunque impotente para realizar proyectos de determinada magnitud, puede, dentro de su esfera de accion, llevar á feliz término mayor número de empresas ménos importantes en detalle, pero superiores por su conjunto á las pocas reservables á la iniciativa del Estado.

Las prácticas establecidas en varias obras de utilidad pública, como consecuencia de ciertas disposiciones legislativas, tienden á crear la categoría de empresas subvencionadas por el Tesoro público, intermedia entre las dos que ántes se han examinado. El sistema de subvenciones, sucesivamente preconizado y deprimido desde las regiones del Gobierno, segun el criterio de escuela económica dominante, adquirió un carácter práctico en la ley de 11 de Julio de 1865, áun cuando no fuera por ella objeto de frecuentes aplicaciones. Calificado en el preámbulo del decreto de 14 de Noviembre de 1868 de «gérmen inagotable de inmoralidad, é inadmisible bajo el punto de vista económico,» vuelve á aparecer bajo una forma embozada en los artículos 8 y 10 de la ley de 20 de Febrero de 1870, y ha venido á quedar expresamente establecido en el cap. VII de la ley de Obras públicas de 13 de Abril de 1877.

Es evidente que por este medio puede ponerse al al-

cance de la especulacion privada un cierto número de negocios de riegos que, por sus especiales condiciones, no son susceptibles de suministrar á la empresa en un breve plazo un reembolso proporcionado á la cifra y condiciones del capital invertido para el establecimiento y conveniente marcha de los riegos. Sin embargo, como dice con mucha oportunidad el distinguido Ingeniero D. Mariano Royo, que ha tratado estas cuestiones en sus *Cartas sobre riegos*, una experiencia dolorosa para el Tesoro ha demostrado en nuestro país, que el procedimiento se presta á que se vistan en el Parlamento con el disfraz de la conveniencia pública negocios de índole puramente privada, y á que la fortuna nacional, entregada á la accion irresponsable del individuo ó de la colectividad asociada, corra grave riesgo de meditadas detentaciones ó de malversacion por efecto de la impericia. Es posible, además, añadimos nosotros, que admitiendo de buena fe los presupuestos, el tanto por ciento de auxilio se convierta en un capital que rebase la cifra á que realmente ascienda el coste efectivo de la obra.

Examinados ya en términos generales la naturaleza y el alcance del esfuerzo que ha de determinar el desarrollo del riego dentro de cada una de las categorías ántes establecidas, veamos cuáles son las principales causas que á este desarrollo se oponen.

Las dificultades que contrarian el progreso en los aprovechamientos de aguas, pueden separarse en dos distintos grupos: las del primero, á las que se puede llamar *naturales*, dependen de la índole especial de la riqueza explotable; las del segundo son una consecuencia de la mala direccion dada al esfuerzo necesario para hacer fecundo el proyecto con el menor sacrificio posible.

El primero y principal escollo con que tropieza toda empresa de riegos, es la lentitud con que se desarrolla

el cultivo. Obedece esta lentitud á causas de muy compleja naturaleza, causas cuya simple enumeracion dará la medida de su importancia relativa.

Suponiendo que el bajo precio del agua ofrezca al cultivador un estímulo suficiente para decidirle á convertir el secano en regadío, necesita aquél disponer de un capital, ó poder adquirirlo en condiciones ventajosas, para preparar las tierras y proporcionarse los medios indispensables para la trasformacion del cultivo. La escasez y el lento crecimiento de la poblacion dificultan tambien la aplicacion de un trabajo más intenso al suelo beneficiable, y al mismo fin contribuyen la falta de hábitos y de aptitud del agricultor, su inercia, esclava del cultivo tradicional, y la necesidad en que se encuentra de cooperar á la mayor produccion con el conveniente empleo de abonos y la debida alternativa de cosechas. A estas causas, que afectan un carácter general y comun á toda comarca destinada á la trasformacion del cultivo por medio del riego, podrian agregarse otras muchas dependientes de circunstancias locales, como accidentes topográficos, vias de comunicacion, mercados, etc.

Las modernas empresas de riegos adolecen, por lo general, de defectos fundamentales, que, ó bien esterilizan una gran parte del capital invertido en las obras, ó bien impiden por completo su ejecucion, relegando eternamente á la categoría de proyecto irrealizable la idea consignada en la concesion hecha por el Gobierno.

Es achaque bastante comun á los proyectistas calcular los rendimientos de un aprovechamiento de aguas por la superficie que el trazado del canal domina, sin contar lo suficiente con el volúmen de agua disponible, y con el necesario á los diferentes cultivos. Abarcando el trazado una superficie mayor que la que permite aprovechar el caudal disponible, se grava el capital con

un gasto innecesario, al que podia haberse dado mejor destino. Si la cuantia de los réditos del capital invertido por la empresa exige la elevacion del cánon hasta un límite incompatible con los intereses del agricultor, queda el agua sin aplicacion alguna, en perjuicio de la empresa y de la prosperidad del cultivo; si, para estimular la conversion del secano en regadio, se rebaja el cánon, deja de percibir su equitativa recompensa el capital invertido en la realizacion del proyecto, pudiendo llegar á hacerse completamente estéril la obra por la falta de recursos con que atender á su conservacion y consiguientes reparaciones.

El canal del Henares y el de la derecha del Llobregat comprenden mayor superficie que la que permiten beneficiar sus respectivas dotaciones: el primero arruina á la empresa; el segundo ha tenido que ser adquirido por el Estado en condiciones muy onerosas, y preciso será recurrir para su abastecimiento á la explotacion de las aguas subterráneas, si se quiere que la incautacion sea provechosa á los intereses públicos.

No debe perderse de vista que, para que un proyecto de aprovechamiento de aguas sea fecundo en bienes para la empresa al mismo tiempo que para los regantes, es condicion indispensable que el riego resulte barato; puesto que si los intereses de la empresa permiten ceder el agua á un precio módico, el cultivo no dejará de desarrollarse con rapidez, sobre todo si por circunstancias especiales resultan eliminadas algunas ó todas las resistencias pasivas que ántes hemos enumerado.

Es tambien frecuente en las empresas de riegos que han llevado el aprovechamiento al terreno de los hechos, ver consumido en la realizacion de la obra un capital muy superior al calculado en los primitivos presupuestos. Este fenómeno, que en algunos casos ha llegado á adquirir proporciones colosales, ó bien depende de la

dificultad de prever importantes accidentes que suelen producirse en la ejecucion del proyecto, ó bien es consecuencia de un plan premeditado con el objeto de facilitar la constitucion de la compañía con un capital inicial más escaso. El error ó la malicia, segun las circunstancias, dan como resultado inmediato una disminucion de la cifra de rendimientos y la trasformacion completa de las bases esenciales del negocio.

Hechas las precedentes consideraciones con el objeto de poner en evidencia el detenido estudio que las grandes empresas de riegos exigen, tanto por parte de la administracion, como por la de los particulares que en ellas se interesen, vamos á indicar los medios que pueden emplearse para su fomento.

Si bien es cierto que una centralizacion excesiva y una administracion complicada, si además sus agentes se hallan periódicamente expuestos á un general trasiego, pueden llegar á destruir el movimiento de las últimas ramificaciones del organismo social, cuando este movimiento va dirigido á la realizacion de empresas útiles, preciso es tambien confesar que esta clase de obstáculos posee en términos generales una importancia relativamente secundaria, cuando de aprovechamientos de aguas se trata. Y en prueba de que el lento progreso de esta clase de aprovechamientos en el período contemporáneo no depende en primer término de los obstáculos que á la expedita marcha de los proyectos de aprovechamientos de aguas hayan opuesto el expedienteo y la tramitacion excesiva, puede afirmarse que casi idénticos resultados se han obtenido dominando en las regiones del Gobierno los más encontrados criterios. En efecto, desde las restricciones impuestas por el Real decreto de 29 de Abril de 1860 hasta la amplitud otorgada á los concesionarios por el decreto-ley de 14 de Noviembre de 1868; y en materia de estudios, desde la observancia de la ley de canales y pantanos de riego, y

posteriormente, la promulgada en 20 de Agosto de 1873, se han recorrido todos los términos de la serie que empieza por la restriccion y acaba por la libertad más omnímoda. Opinamos, no obstante, que el Estado, simple depositario de una riqueza que á título gratuito entrega al particular para que la explote, necesita tomar sus precauciones para que aquélla no se malverse, y debe por lo tanto exigir ciertas garantías para el otorgamiento de las concesiones.

Hemos dicho que el principal obstáculo que al desarrollo de los riegos se opone es la lentitud con que se trasforma el cultivo, y desde luégo se advierte que, siendo la falta de capitales en el cultivador una de las principales causas de dicha lentitud, favorecerá, por el contrario, la rápida propagacion del riego la facilidad de adquirirlos en condiciones ventajosas para la industria agrícola. Desgraciadamente es muy complicado el problema del crédito territorial que de las precedentes consideraciones resulta planteado, y los ensayos practicados en España y en Francia en estos últimos años no permiten, á nuestro modo de ver, el augurio de la deseada viabilidad de los bancos agrícolas.

La limitacion del poder productivo de la tierra y el largo período por ella exigido para la reconstitucion del capital empleado en explanaciones, acueductos, saneamientos, adquisicion de útiles y abonos, etc., hacen indispensable el pago de un interés módico y la devolucion paulatina de aquél, mediante un tanto por ciento de amortizacion, extremos poco compatibles con el interés del capitalista que busca réditos crecidos y facilidades para el reembolso del préstamo. Es verdad, que siendo segura la garantía puede el prestamista contentarse con un interés módico; pero aunque así sea, es además preciso que las obligaciones contraidas á largos plazos puedan fácilmente realizarse por el prestamista mediante la creacion de cédulas ó títulos hipotecarios,

admitidos en la pública licitacion, devengando intereses módicos, y cuya garantía radique en las mismas fincas de los asociados.

Los bancos agrícolas que con más beneficiosos resultados para la agricultura funcionan en Alemania son los constituidos por la asociacion cooperativa de los mismos interesados en el desarrollo del cultivo. Los propietarios más ricos de las respectivas comarcas constituyen en hipoteca sus bienes como garantía del capital social, toman prestado á los capitalistas mediante la entrega de pagarés pignoraticios que producen un interés anual de un 3 ó 4 por 100, y prestan á su vez á los demás agricultores con un pequeño aumento en el interés, y un tanto por ciento de amortizacion proporcionado al plazo convenido para el reintegro, aunque reducible á voluntad del interesado; de modo que, en definitiva, el capitalista se entiende directamente con la asociacion, y ésta con el agricultor necesitado. Si el deudor no satisface el interés estipulado dentro del plazo que se convino, toma la asociacion prestada la cantidad á un banquero por cuenta del deudor moroso, y trascurrido un nuevo plazo procede á la venta de la finca hipotecada, sin gastos ni demoras por procedimientos judiciales. No pudiendo prestar la asociacion por mayor cantidad que la mitad del capital social que le sirve de garantía, así como en cada préstamo por la mitad del valor de la finca hipotecada, y no existiendo gastos de procedimiento ni demoras por obstáculos legales ó administrativos, aquellas sociedades marchan desembarazadamente, y han reducido á la mitad el tipo del interés del dinero anterior á su establecimiento.

Los caracteres que distinguen la organizacion de dichos bancos demuestran la imposibilidad de su planteamiento en España, sin que precedan reformas en la legislacion y en las formas del procedimiento, además

de la mejora del estado general económico del país y del Tesoro.

Los altos poderes públicos pueden entre tanto estimular el interés del agricultor, eximiendo á éste, en mayor escala que lo han hecho hasta ahora, del aumento de cargas que la mayor produccion podria hacer exigibles á las comarcas nuevamente regadas, con el fin de ofrecer una compensacion á las exigencias de las empresas de riegos, las cuales no pueden rebajar sus tarifas más que hasta cierto límite, pues de otro modo dejarian al descubierto los intereses del capital invertido en la obra y los gastos de explotacion del negocio.

La administracion podrá tambien hacer más expedita la marcha de las empresas de riegos que se proyecten practicando estudios hidrológicos en las cuencas de nuestros rios, y dando publicidad á los datos que se obtengan, pues por este medio sabrán á qué atenerse respecto á volúmenes de aguas disponibles las empresas que de buena fe se dediquen á su aprovechamiento, evitándose al propio tiempo que el particular se arruine por ir en busca de las soñadas utilidades que le ofrezca una empresa de mala fe, atenta tan sólo á la explotacion del accionista.

La vaguedad y anarquía que desgraciadamente imperan en las antiguas concesiones de aguas para riegos y artefactos, en las cuales rara vez se observa la debida relacion entre el agua concedida y el objeto á que se destinaba, constituyen una rémora poderosa para la desembarazada marcha de las empresas de riegos, que al propio tiempo esteriliza un caudal importante, susceptible de más útiles aplicaciones. La revision y el deslinde de dichas concesiones, sabiamente autorizada por el art. 197 de la ley de aguas de 1866, es, por lo tanto, otro de los medios que la administracion deberia poner en práctica para el fomento de las comarcas regables.

En resúmen; para el fomento de los negocios de riegos realizables por la especulacion privada, debe limitarse la accion del Estado á ilustrar la opinion publicando los datos hidrológicos, cuyo previo estudio es incompatible con el alcance y el interés del individuo, y á remover todos los obstáculos que puedan entorpecer el libre movimiento de la poderosa palanca de la particular iniciativa.

AGUAS Y RIEGOS

PRIMERA PARTE

ESTUDIOS PRELIMINARES

CAPÍTULO I.

IMPORTANCIA DEL RIEGO.—INDICACIONES GENERALES ACERCA DEL CLIMA DE ESPAÑA.

Importancia del riego. Admitida por todos los agrónomos como una verdad axiomática la utilidad del riego artificial para suplir la insuficiencia ó la falta de oportunidad de las aguas meteóricas con respecto al cultivo, no nos detendremos en aducir prueba alguna fundada en consideraciones de fisiología vegetal, que reservamos para el capítulo inmediato, y haremos tan sólo por el momento breves indicaciones de carácter económico, fijando luégo la atencion en el clima de nuestro país, dato que en el asunto que va á ocuparnos se ofrece á nuestra consideracion en primer término.

Si dejando la tesis general de la importancia del riego, se trata ya de fijar la medida de ésta, queda planteado un problema con multitud de variables, problema cuyas soluciones pueden ofrecer valores comprendidos entre límites muy distantes. Así se explica la divergencia de apreciaciones que se nota en los autores que han querido concretar el aumento de

valor que reciben las tierras al efectuarse la conversion del secano en regadío.

Cuando, siendo favorables las condiciones económicas y físicas de la produccion, sólo falta el seguro y oportuno auxilio del agua para que se desarrollen los gérmenes de la riqueza latente, la diferencia entre el producto de ambas clases de cultivo puede adquirir proporciones considerables. Una hectárea de cañaveral, por ejemplo, da en las privilegiadas tierras de la costa de Málaga 4.200 arrobas de caña dulce, de un valor medio de 8.400 reales, obtenido con un gasto de 2.800, siendo por lo tanto de 5.600 el producto líquido; miéntras que esta misma hectárea, destinada á un cultivo de secano, dista mucho de dar por término medio un producto líquido que llegue á la décima parte. Este caso excepcional, y muchos otros que pudiéramos presentar, en cuyas condiciones de produccion ejerce una grande influencia el concurso de causas que determinan un privilegio natural, ofrecerian resultados análogos á los que se dedujeran tomando tipos extremos en una localidad ménos favorecida por la naturaleza, pero en la cual sirviera de estimulante activo á la produccion la proximidad de un importante centro de consumo.

La comparacion entre los precios en venta y en arrendamiento de las tierras de secano y regadío, de igual situacion y condiciones análogas, puede dar algunas indicaciones acerca del beneficio que proporcionan las aguas de riego. No hay que conceder, sin embargo, á estas indicaciones más que una importancia relativa, puesto que en aquellos precios influyen de una manera inmediata las condiciones de mercado, tanto de las mismas tierras como de sus productos, y la mayor ó menor facilidad de que encuentren su equitativa recompensa el mayor trabajo, capital é inteligencia dedicados á la mejora de las condiciones productivas del suelo.

La relacion más comun en España entre los precios de las tierras análogas de secano y regadío, es de 1 : 3. Se conciben, sin embargo, las ventajas inmensas que pueden resultar de

la oportuna aplicacion de las aguas al riego de las tierras, con sólo fijar la atencion en el prodigioso efecto producido por el agua y el cultivo en la vega de Murcia y en la central del Ebro: en ambas la estepa árida y desnuda ha sido trasformada en rico y floreciente verjel, cuya vegetacion espléndida contrasta vigorosamente con el quietismo y la aridez de los pelados cerros que las rodean.

La necesidad del riego artificial aparece en España todavía con caracteres más marcados que en las demás naciones de Europa, en virtud de las condiciones especiales de su clima.

Clima de España. En realidad, clima único y uniforme, con caracteres generales y constantes, no existe en España. Y es fácil convencerse de que no puede ménos de ser así, si se atiende á que la península ibérica ofrece todas las circunstancias de un pequeño continente unido al resto de Europa por un istmo constituido por una elevada cordillera, presentando una extension considerable de costas bañadas por distintos mares, y ofreciendo en su interior poderosos sistemas de montañas, y elevadas y vastas mesetas. A estos accidentes del suelo hay que añadir una circunstancia importante, dependiente de su diversidad de constitucion física y geognóstica. No ofrecen menor variedad las condiciones atmosféricas, tanto bajo el punto de vista de las temperaturas media y extremas, como del estado higrométrico y meteóros que de él dependen, de la trasparencia del aire, y del mayor ó menor acceso de la radiacion solar. Los vientos proceden de regiones muy diversas, y presentan por lo tanto caracteres variados y hasta opuestos. De esta gran diversidad de elementos resulta una gran desigualdad en el clima.

A exponer los elementos característicos más importantes de tanta variedad de climas se halla dedicado el siguiente cuadro:

RESÚMEN *de las observaciones meteorológicas efectuadas en*

LOCALIDADES	Altura barométrica media.....	Oscilacion barométrica anual media	TEMPERATURA MEDIA EN EL					TEMPERATURA	
			Invierno....	Primavera..	Verano.....	Otoño.....	Año.....	Máxima media.....	Mínima media
	mm	mm	°	°	°	°	°	°	°
Vergara (1867-72)....	748,9	33,4	7,9	13,2	20,0	14,3	13,9	40,2	— 6,
Bilbao (1865-73).....	762,6	34,0	9,6	14,1	20,7	15,8	15,0	39,8	— 3,
Oviedo (1865-74).....	742,9	34,9	7,9	11,7	18,2	13,8	12,9	32,8	— 3,
Santiago (1865-74)....	739,6	38,5	8,2	12,0	18,5	13,7	13,1	34,9	— 2,
Oporto (1866-74).....	755,0	33,2	10,1	14,8	20,9	15,8	15,5	34,4	+ 0,
Coimbra (1865-74)....	751,0	33,3	10,5	14,8	21,2	16,3	15,7	38,4	+ 0,
Lisboa (1865-74).....	755,1	34,9	10,7	14,6	20,9	16,7	15,7	34,5	+ 2,
Salamanca (1865-74)..	693,5	30,6	4,8	10,4	20,5	12,5	12,3	38,5	— 9,
Valladolid (1865-74)..	701,4	30,2	4,1	10,7	20,2	12,1	11,8	38,6	—11,
Burgos (1865-74).....	688,5	30,2	3,6	9,7	18,1	11,1	10,7	35,4	— 9,
Soria (1865-74).....	671,3	28,6	4,0	9,9	20,0	12,0	11,4	36,0	— 9,
Zaragoza (1865-74)...	»	»	7,0	14,6	24,0	15,5	15,3	41,8	— 7,
Huesca (1865-74).....	»	»	4,8	12,1	22,1	13,8	13,2	36,6	—10,
Barcelona (1865-74) ..	761,9	33,2	9,8	14,6	23,4	17,5	16,3	32,3	+ 0,1
Palma (1865-74).....	762,9	29,3	11,5	16,1	25,0	19,5	18,0	37,0	+ 1,
Valencia (1865-74) ...	761,5	31,7	10,8	15,6	23,9	18,7	17,3	38,2	— 0,9
Alicante (1865-74)....	760,9	30,4	11,6	16,1	24,7	18,9	17,8	39,2	— 2,7
Murcia (1865-74).....	759,2	30,9	10,8	16,2	24,9	19,1	17,8	40,3	— 3,2
Albacete (1866-74) ...	703,1	26,4	5,6	12,0	22,6	15,4	13,6	36,7	— 8,9
Ciudad-Real (1866-74)	709,1	27,9	7,7	14,8	25,2	16,0	15,9	42,2	— 6,7
Madrid (1865-74).....	706,8	31,7	5,2	12,5	23,5	13,7	13,7	39,9	— 7,0
Jaen (1867-72).....	712,8	27,2	8,3	15,3	25,4	16,2	16,1	39,5	— 2,9
Granada (1865-74)....	704,9	26,6	7,0	13,4	23,4	15,2	14,8	35,6	— 2,4
Sevilla (1865-74)	761,9	28,9	11,8	17,7	28,1	20,6	19,6	46,5	— 1,1
Tarifa (1867-74).....	762,2	25,9	12,5	16,1	22,6	18,4	17,3	34,3	+ 1,6
S. Fernando (1867-74)	761,2	27,7	12,3	16,4	23,4	18,6	17,7	37,4	+ 1,3
Málaga (1878-80).....	762,3	13	12,7	17,7	26,3	20,3	19,3	41,0	+ 2,5

nínsula durante el decenio (por regla general) de 1865 á 1874.

LLUVIA MEDIA EN EL					PROMEDIO DE LOS DIAS DE LLUVIA EN EL					PROMEDIO DE LOS DIAS			VIENTOS dominantes en el año.	LOCALIDADES
	Primavera..	Verano.....	Otoño.....	Año.....	Invierno....	Primavera..	Verano.....	Otoño.....	Año.....	Despejados.	Nubosos....	Cubiertos...		
	mm	mm	mm	mm										
5	346	227	331	1329	48	47	37	45	172	72	112	182	N.O.	Vergara.
6	306	182	364	1218	46	43	33	43	165	78	128	159	N.O.	Bilbao.
9	263	154	251	937	40	44	30	42	156	54	151	160	N.E.-S.O.	Oviedo.
4	430	156	518	1748	52	43	24	43	162	85	150	130	N.E.-S.O.	Santiago.
7	410	89	423	1509	40	31	12	26	109	107	117	141	S.O.	Oporto.
7	246	75	246	854	43	38	20	34	135	73	190	102	(?)	Coimbra.
9	180	20	208	691	44	31	9	30	114	113	177	75	N.	Lisboa.
3	76	43	78	250	18	23	10	21	72	125	130	111	N.O.	Salamanca.
5	89	48	92	304	19	24	13	22	77	87	148	130	N.E.	Valladolid.
9	176	100	152	537	24	30	19	32	105	84	144	137	N.E.	Burgos.
5	187	127	164	617	22	28	18	24	92	102	170	93	N.E.	Soria.
8	106	58	101	353	14	22	13	18	67	120	84	81	N.O.	Zaragoza.
0	179	103	214	616	19	23	15	22	80	162	136	67	N.O.	Huesca.
0	152	107	238	607	17	21	14	21	78	121	137	107	S.	Barcelona.
6	104	43	172	485	24	19	9	23	54	158	153	54	S.S.O.	Palma.
4	99	42	242	457	14	14	6	14	48	252	59	54	O.	Valencia.
4	127	43	167	441	11	14	6	13	44	186	191	38	S.E.	Alicante.
7	105	31	111	334	18	20	8	18	64	133	139	93	S.S.E.	Murcia.
7	117	57	93	334	14	17	8	14	54	134	100	131	S.E.	Albacete.
0	89	31	86	316	18	20	8	14	60	193	85	87	O.	Ciudad-Real
1	110	51	120	382	30	27	18	25	95	133	171	61	N.E.	Madrid.
5	170	40	170	605	25	24	7	20	76	146	155	64	O.N.O.	Jaen.
1	145	27	144	467	23	26	7	22	78	195	68	102	S.O.	Granada.
0	88	21	93	305	22	18	4	15	59	201	115	49	S.O.	Sevilla.
5	151	11	166	566	29	20	3	19	71	194	91	80	E.	Tarifa.
2	212	19	287	890	36	26	7	28	97	97	199	69	.....	S. Fernando
5	146	9	254	596	11	11	2	7	34	167	150	48	S.E.-O.N.O.	Málaga.

Resumiendo los datos insertos en el precedente cuadro, diremos que es húmedo y relativamente suave ó templado el clima de la estrecha zona cantábrica septentrional, y mejor todavía, bajo este doble aspecto, el de la zona occidental ocupada por las costas de Galicia, expuestas en primer término á los vientos fertilizadores del Océano; más extremado y caluroso, de lluvias accidentales, seco en demasía á corta distancia del litoral, y en mucha parte del año bonancible y templado, es el de la zona oriental bañada por el Mediterráneo; otro distinto es el de las cuencas y vegas de los grandes rios y de sus tributarios más importantes; y finalmente, clima extremado, riguroso y propiamente *continental*, es el de las extensas planicies del centro, cubiertas con un manto de verdura en primavera, y casi calcinadas, áridas y tristes durante el estío, hasta que las anheladas lluvias de otoño acuden de nuevo á refrescarlas y fecundarlas.

Fijándonos en los datos relativos á la lluvia, podemos decir que las costas del Océano son mucho más lluviosas que las del Mediterráneo; y se comprende que debe ser así, puesto que el Sudoeste, que es el viento dominante en Europa, es tibio y se halla saturado de vapor, y al traspasar las costas occidentales de la península ibérica, se eleva, se enfria y vierte sobre la tierra la humedad condensada, llegando generalmente á la region central ya desecado. Cuando este viento llega en verano á la zona mediterránea, causa mucho daño á la vegetacion por su gran sequedad y por su elevada temperatura. Los vientos del primer cuadrante, que suelen ser los ménos frecuentes y duraderos, dan comunmente orígen á las lluvias de la region mediterránea. En cuanto á la costa cantábrica, la fuerte inclinacion de la vertiente determina una rápida elevacion de las brisas del mar, de cuyo fenómeno, en conformidad con el principio de Babinet, resulta un enfriamiento proporcionado y una condensacion abundante. La region central no puede aprovechar generalmente el beneficio de la humedad que trae consigo el Sudoeste, puesto que, segun ya hemos indicado, ésta se con-

densa en su mayor parte á su paso por el vecino reino lusitano.

Podemos, por lo tanto, afirmar en términos generales que excepto la costa occidental gallega y toda la vertiente cantábrica, que realmente pueden equipararse á las regiones más lluviosas de Europa, en el resto de España son las lluvias escasas, con frecuencia aturbonadas y casi siempre mal distribuidas.

Cantidad de agua perdida por evaporacion. A falta de un resúmen general que ponga de manifiesto la cantidad de agua perdida por evaporacion en las principales comarcas de España, dato de mucho interés para el estudio de todo proyecto de riegos, anotaremos las consecuencias generales que se desprenden de las observaciones meteorológicas verificadas en Madrid durante el decenio de 1860 á 1869, y son las siguientes:

1.ª La evaporacion media del agua, expuesta en un receptáculo á la accion de la intemperie, asciende en Madrid á 4,3 milímetros por término regular en cada intervalo anual de veinticuatro horas, ó sea á 1,5 metros en la totalidad del año.

2.ª Esta cantidad puede aumentar y disminuir excepcionalmente hasta medio metro de un año para otro; pero por regla general la variacion suele ser de un decímetro.

3.ª En los tres meses de verano la cantidad de agua evaporada equivale, hasta con exceso, á la que corresponde á los nueve meses de invierno, primavera y otoño.

4.ª La evaporacion en vaso abierto puede considerarse en Madrid como equivalente á una cantidad triple del agua caida en forma de lluvia.

Esta desproporcion es más enorme todavía en la huerta de Murcia, en la cual, segun los datos que aparecen en la Memoria suscrita por D. Olayo Diaz, relativos á las observaciones hechas durante el quinquenio de 1863 á 1867, la capa de agua anualmente evaporada en vaso abierto expuesto á la intemperie, asciende por término medio á 2047,96

milímetros, y la formada por lluvia en el mismo período sólo llega á 386,62 milímetros, resultando á favor de la evaporacion un exceso de 1661,34 milímetros. Este dato pone de relieve la inmensa importancia que el riego artificial posee en aquella region calcinada por un sol abrasador y una atmósfera seca, serenísima y trasparente. Así se explica tambien el vivo contraste que nuestros campos ofrecen, tan pronto regados por benéfica nube como secos, grieteados, endurecidos ó de nuevo polvorosos: el carácter torrencial de nuestros rios, secos ramblazos hoy, y torrentes impetuosos y devastadores mañana, puesto que á los rigores de una atmósfera seca se unen el carácter de turbion que con frecuencia revisten las lluvias, las circunstancias topográficas y geológicas del terreno y la falta de vegetacion arbórea en las regiones montañosas que contenga la rapidez del desagüe é impida la desagregacion del suelo. Debemos hacer notar, sin embargo, que las cifras ántes indicadas, con referencia á las cantidades de agua llovida y evaporada, corresponden al período anual tomado en conjunto, y no á sus varios meses y estaciones, y que las observaciones hechas son en corto número y se hallan demasiado localizadas para que permitan deducir las condiciones meteóricas de zonas algo extensas. Durante el invierno, y muchos dias de primavera y de otoño, supera á la evaporacion la lluvia; la atmósfera encapotada impide el enfriamiento debido á la irradiacion nocturna; desarróllase la vegetacion, y la naturaleza parece como que se apresta para la lucha que durante otro medio año tendrá que sostener con la sequedad del suelo y el enardecimiento del aire. Durante los meses del verano los turbiones, frecuentes en las montañas, envian á los rios un suplemento de caudal que aprovechan los llanos si la prevision ha aconsejado el establecimiento de cauces á propósito para dar útil destino á aquel benéfico auxilio, casi constantemente reclamado por las tierras forzosamente sometidas al régimen de penuria propio del estiaje.

CAPÍTULO II.

NATURALEZA DEL AGUA DE RIEGO Y SU INFLUENCIA EN LA VEGETACION Y EN EL CULTIVO.

Accion del agua sobre el organismo vegetal. El agua es una sustancia bajo diversos puntos de vista indispensable á la vida de las plantas: cede á éstas sus elementos, ya ambos á la vez, entrando en la fórmula química de muchos principios inmediatos importantes, como la celulosa, la fécula, la dextrina, la glucosa; ya prestando tan sólo su hidrógeno á la asimilacion mediante un trabajo de reduccion análogo al que sirve para la fijacion del carbono. Conservando su propia naturaleza, se encuentra el agua en todos los tejidos, á los cuales proporciona la turgidez conveniente para que las cavidades celulares puedan desempeñar las funciones propias del organismo vegetal. Esta agua, que puede llamarse de *vegetacion,* entra siempre por una fraccion importante en el peso de la planta viva, y en algunos casos constituye su parte más considerable.

El agua, circulando por el organismo vegetal desde las raicillas, por las cuales es absorbida, hasta el ápice de la planta y los apéndices foliáceos, donde experimenta una evaporacion activa bajo la influencia de la luz, sirve de vehículo á los principios nutritivos, tanto á los de naturaleza mineral que extrae del suelo, como á los de naturaleza orgánica que resultan de la elaboracion de la savia en los órganos foliáceos, y que, llevados por la savia descendente, sirven inmediatamente á la nutricion de los tejidos y de los órganos. De aquí se sigue que cuanto mayor sea la cantidad

de agua que circule por el vegetal, tanto mayor será tambien la cantidad de principios que deposite, y tanto más activa la nutricion y más rápido su desarrollo.

Pero el movimiento del agua al través del organismo está subordinado á la absorcion y á la exhalacion, que son dos funciones correlativas. Vegeta mal la planta si no existe la proporcion debida entre el agua que las raíces absorben del suelo y la que exhalan las hojas y órganos verdes. Esto explica por qué en los climas frios y nebulosos, en donde la radiacion solar es débil, hace falta poco riego y pronto se llega al exceso, miéntras que en la mayor parte de nuestro país, por su situacion geográfica y por la trasparencia de la atmósfera, se hace muy intensa la accion de los rayos solares, excede comunmente la exhalacion á la absorcion y sólo el riego puede restablecer el equilibrio entre ambas funciones.

En la preparacion de las materias asimilables del suelo obra el agua mecánica y físicamente: mecánicamente, facilitando la desagregacion de las rocas y su descomposicion por los agentes atmosféricos; y físicamente, disolviendo los principios solubles de éste, ó cediéndole parte de los que lleva en suspension ó disueltos.

Sustancias minerales disueltas en el agua. El agua no se encuentra pura en la naturaleza: corriendo por la superficie del suelo, al través de las capas permeables del terreno ó por las grietas y hendiduras de las rocas, disuelve una parte de las sustancias minerales que encuentra en su trayecto. Las que más comunmente y con más abundancia suele llevar en disolucion, son la cal, los álcalis, la magnesia, la alúmina y el óxido de hierro, formando sales con los ácidos carbónico, sulfúrico, clorhídrico, nítrico y silícico. La mayor parte de estas sustancias entra como principio nutritivo indispensable á la vida de la planta, poniéndose de manifiesto su presencia por medio del análisis de las cenizas.

Para dar una idea de la importancia que para el riego puede tener el conocimiento de la naturaleza y proporciones

de las sustancias disueltas en el agua, y no poseyendo elementos para exponer en un cuadro el resultado de los análisis de las aguas de nuestros rios, trascribiremos el que inserta M. Bobierre en su obra de química agrícola, y añadiremos á dicho cuadro los resultados del análisis de las aguas del Lozoya, tomadas en el ponton de la Oliva, y del Guadalete, recogidas frente á la ermita de la Aina, y aclaradas por reposo, y del Duero tomadas por cima del puente de Boecillo (Valladolid), análisis respectivamente practicados por los distinguidos químicos Sres. Rióz, Escosura y Cortázar.

SUSTANCIAS MINERALES CONTENIDAS EN 100 LITROS DE AGUA	GARONA — *Gramos*	SENA — *Gramos*	RHIN — *Gramos*	LOIRE — *Gramos*	RÓDANO — *Gramos*	DOUBS — *Gramos*	LOZOYA — *Gramos*	GUADALETE — *Gramos*	DUERO — *Gramos*
Sílice	4,01	2,44	4,88	4,06	2,38	1,59	0,16	0,30	0,20
Alúmina	»	0,05	0,25	0,71	0,39	0,21	»	»	»
Óxido de hierro	0,31	0,25	0,58	0,55	»	0,80	»	»	»
Carbonato de cal	6,45	16,55	13,56	4,81	7,89	19,10	0,64	12,50	8,00
Idem de magnesia	0,34	0,27	0,50	0,61	0,49	0,23	0,86	»	2,50
Sulfato de cal	»	2,69	1,47	»	4,06	»	0,04	20,20	5,00
Idem de potasa	0,76	0,50	»	»	»	»	»	»	0,70
Idem de sosa	0,53	»	1,35	0,34	0,74	0,51	0,10	»	»
Idem de magnesia	»	»	»	»	0,63	»	0,15	7,80	0,80
Cloruro de magnesio	»	»	»	»	»	0,05	0,17	2,60	1,20
Idem de sodio	0,32	1,23	0,20	0,48	0,17	0,23	0,29	26,70	1,00
Carbonato de sosa	0,65	»	»	1,46	»	»	»	»	»
Nitrato de potasa	»	»	0,38	»	0,40	0,41	»	»	»
Idem de sosa	»	0,94	»	»	0,45	0,39	»	»	»
Idem de magnesia	»	0,52	»	»	»	»	»	»	»
Silicato de potasa	»	»	»	0,44	»	»	»	»	»
Fosfato de alúmina	»	»	»	»	»	»	»	»	2,50
Total	13,67	25,44	23,17	13,46	18,20	23,02	2,41	70,10	19,50

Las sustancias minerales disueltas en las aguas de riego podrán ejercer una grande influencia en la vegetacion, cuando, constituyendo un principio nutritivo, no se encuentre éste en el terreno regable en cantidad suficiente para las necesidades del cultivo.

Estas aguas, no sólo contribuyen á la produccion de una manera inmediata facilitando á las plantas un alimento fácilmente asimilable, sino que pueden tambien modificar la naturaleza del suelo obrando como un verdadero abono.

M. Hervé Mangon, antiguo profesor de química de la Escuela de Puentes y Calzadas de París, ha hecho sobre las aguas de riego observaciones interesantes, de las cuales ha deducido que, en la mayoría de los casos estudiados, la cantidad de sustancias minerales suministradas por las aguas es superior á la que exigen las necesidades del cultivo.

Entre los elementos mineralógicos indispensables á la nutricion del organismo vegetal se encuentran dos de importancia suma, tanto por la necesidad que de ellos tienen las plantas, como por la parsimonia con que generalmente se encuentran en los terrenos cultivables: tales son la potasa y el ácido fosfórico. Las sales de potasa abundan especialmente en las aguas que corren por el granito y el gneis.

Segun los análisis que M. Payen ha hecho de las aguas del pozo artesiano de Grenelle, en 100 litros de agua, además de otras sustancias, se han encontrado:

	Gramos.
Bicarbonato de potasa	2,96
Sulfato de potasa	1,20
Cloruro de potasio	1,09

de cuyos datos se deduce que una hectárea de terreno regada durante seis meses con esta agua, al tipo de un litro continuo por segundo, proporcionaria al terreno un equivalente de potasa correspondiente al que suministrase el empleo de 87.000 kilógramos de estiércol normal de cuadra, cuya

dosis de potasa es de 5 por 1.000, segun los análisis de M. Boussingault.

Las sales de potasa disueltas en el agua descomponen los fosfatos que se encuentran diseminados en muchos terrenos, especialmente en los de orígen volcánico: á esta circunstancia puede atribuirse la existencia de pequeñas dosis de ácido fosfórico en la mayor parte de las aguas naturales, aunque no siempre pueden ponerse en evidencia por medio del análisis.

Las sales de hierro disueltas en el agua ejercen una accion importante en el organismo vegetal, por cuanto entran, aunque en pequeña cantidad, en la composicion de la clorofila; á esta circunstancia debe atribuirse el uso de las disoluciones ferruginosas para combatir la clorosis de las plantas.

Podemos decir, en resúmen, que las aguas de riego contienen, por lo general en proporciones muy variables, los elementos mineralógicos necesarios para la nutricion de las plantas, y que cuando entran en dosis infinitesimales no dejan por esto de poseer un valor agrícola digno de tomarse en cuenta, por efecto del gran volúmen de agua correspondiente al ejercicio continuado del riego. Segun la naturaleza de las aguas y la de los terrenos, podrá suceder que algunas sustancias minerales se introduzcan en el terreno en cantidad proporcionada á las necesidades del cultivo ó en proporcion insuficiente; el agua obrará, por lo tanto, segun los casos, como un abono, cediendo alimentos al terreno, ó como un esquilmo, disolviendo los elementos inorgánicos del suelo y llevándolos á las capas inferiores donde no alcancen las raíces. En este último caso, que hablando en términos generales es el más frecuente, habrá necesidad de suplir la pérdida con una inteligente aplicacion de abonos adecuados á los respectivos terrenos y cultivos.

Elementos químicos que deben considerarse como principios nutritivos esenciales de las plantas. Segun las más recientes observaciones de los fisiólogos moder-

nos, los elementos indispensables á la vida de las plantas, sin cuya presencia en su organismo no puede obtenerse una vegetacion floreciente, son: el oxígeno, hidrógeno, carbono, ázoe, azufre, potasio, calcio, magnesio, hierro, fósforo, sodio y cloro. En opinion del célebre fisiólogo Sachs no se ha podido reconocer hasta el presente una influencia positiva al manganeso y al silicio en la asimilacion y en el desarrollo de las plantas, por más que estos y otros elementos se encuentren como principios fijos en las cenizas de un gran número de ellas. El silicio, por ejemplo, se encuentra con abundancia en estado de ácido silícico en las gramíneas y en otras plantas, á cuyos tallos da rigidez y consistencia.

El carbono de las plantas que no viven por necesidad en un suelo que contenga humus, proviene únicamente del ácido carbónico del aire ó del que existe disuelto en el agua, efectuándose su descomposicion y desprendiéndose el oxígeno bajo la influencia de la luz.

El hidrógeno que, como el carbono, no falta casi á ninguna combinacion orgánica, proviene del aire y del amoniaco.

El oxígeno debe considerarse más bien como un estimulante de las funciones vegetales, que como un principio nutritivo. El que es asimilado procede del agua, y su proporcion es siempre menor que la del carbono é hidrógeno, á que va unido, formando uno cualquiera de los principios inmediatos. El que es absorbido directamente obra como oxidante, formando ácido carbónico y agua á expensas de la materia organizada.

El ázoe puede ser absorbido por las plantas adultas bajo la forma de gas libre procedente de la atmósfera; pero cuando se trata de suministrarlo á los vegetales en las condiciones más apropiadas para la asimilacion, este gas debe penetrar en las celdillas, combinado con otros elementos, bajo la forma de ácido nítrico ó de una sal amoniacal.

Si la riqueza en ázoe de una sustancia fertilizante basta muchas veces para dar una idea aproximada de su valor

agrícola, se comprende desde luégo la importancia que para la produccion ha de tener la presencia de principios azoados en las aguas de riego.

Gases disueltos en el agua. Todas las aguas, y principalmente las corrientes, disuelven en virtud de su contacto prolongado con la atmósfera una cantidad variable de aire, el cual se halla constituido por una mezcla de oxígeno y ázoe en la proporcion aproximada de 21 partes en volúmen del primero de dichos gases por 79 del segundo. El aire contiene, además, de 4 á 6 diezmilésimas de ácido carbónico. Estos gases son absorbidos por el agua segun sus coeficientes de solubilidad respectivos; así es, que este líquido disuelve mayor cantidad de oxígeno que de ázoe, relativamente á las proporciones en que ambos gases entran en la formacion del aire atmosférico. Ya hemos indicado cuáles son las funciones que aquellos dos gases desempeñan en el organismo vegetal. El ácido carbónico se encuentra en las aguas, ó procedente de la disolucion del que se halla contenido en la atmósfera, ó como consecuencia de la combustion lenta de las materias orgánicas mediante la accion del oxígeno, ó debido á desprendimientos resultantes de reacciones subterráneas: cualquiera que sea su orígen, su presencia en el agua facilita la formacion de sales solubles, trasformando los materiales inertes del suelo en principios asimilables por las plantas.

De las precedentes consideraciones se deduce, en resúmen, la conveniencia de conocer por medio de un análisis químico la naturaleza del agua que al riego se destine, puesto que de dicho conocimiento, del de la composicion mineralógica del suelo y del de las necesidades de cada cultivo podrá el agricultor inteligente sacar el mayor partido posible de los recursos que á su disposicion pone la naturaleza.

Limos fertilizantes. Las aguas llevan en suspension y arrastran en su curso materias sólidas más ó ménos tenues, procedentes de la erosion que ejercieron en los terrenos superiores. Su cantidad y naturaleza son variables, y dependen

de las condiciones del terreno que las aguas atraviesan y de la fuerza viva de que éstas se hallan animadas. Las rocas, cantos rodados, gravas y arenas van depositándose sucesivamente á medida que la velocidad de la corriente disminuye; pero no importando á nuestro actual objeto el estudio de esta clase de arrastres, nos fijaremos tan sólo en el exámen de los légamos que enturbian las aguas en las regiones inferiores de los valles de pendiente escasa.

Para un mismo rio y en un punto determinado de su curso varía considerablemente la cantidad de partículas tenues que las aguas llevan suspendidas en su masa.

La tabla siguiente nos da para algunos rios: 1.°, el peso medio aproximado de las sustancias que se encuentran en dicho estado en un metro cúbico de agua durante los seis meses más secos del año; 2.°, los mismos datos en los seis meses restantes, y 3.°, el peso del légamo seco por metro cúbico de agua encontrado por algunos observadores en las grandes avenidas.

RIOS	NOMBRE de los observadores	FECHAS de las observaciones	KILÓGRAMOS DE LIMO QUE POR TÉRMINO MEDIO CONTIENE UN METRO CÚBICO DE AGUA			
			De 1.° Abril á 30 Setiembre	De 1.° Octubre á 31 Marzo	Término medio anual	Durante las crecidas
			Kgs.	Kgs.	Kgs.	Kgs.
Sena	Hervé-Mangon	1863-66	0,200	0,400	»	2,740
Marne	Idem	1863-64	0,014	0,014	»	0,515
Loire (en Tours)	Idem	1860	»	»	»	0,467
Vienne	Idem	1858	»	»	»	0,495
Rhin	Horner	1833	»	»	0,061	»
Ródano (en Lyon)	Fournet	1844	0,078	0,073	»	»
Idem	Dupasquier	1839	»	»	»	0,980
Idem	Lartet	1841	»	»	»	1,250
Saône (en Lyon)	Fournet	1844	0,022	0,074	»	»
Durance	Hervé-Mangon	1859-60	1,460	0,780	»	8,632
Var	Idem	1864-65	2,820	1,699	»	36,617
Elba	Hubbe	1854-55	»	»	0,032	0,109
Ganges	Everest	»	»	»	»	2,340
Mississipí	Forshey	1851-52	»	»	0,553	1,748

En los rios de España no se han hecho, que sepamos, observaciones para determinar la cantidad de légamo ó tarquin que las aguas llevan en suspension durante las crecidas; es de presumir, sin embargo, que la proporcion sea muy considerable, dado el carácter torrencial de casi todos nuestros rios, dependiente de las condiciones topográficas de sus cuencas, de la naturaleza en general desagregable del terreno y del carácter de turbion que con frecuencia suelen revestir las lluvias que caen en nuestro suelo.

Muy poco tiempo despues de ocurrida la inundacion que en 1864 fué un verdadero azote para los pueblos de la ribera del Júcar, fuimos en comision del Gobierno á estudiar los efectos de aquella célebre avenida y los medios de disminuir los desastres de las sucesivas, y recordamos haber visto extendida por una gran superficie del llano de Alberique una capa de légamos de espesor variable, pero que en algunos puntos llegaba hasta la cruz de las moreras plantadas en la vega. En la region baja de la cuenca de Llobregat, en la cual desde hace algunos años se practica de una manera ordenada y metódica el aprovechamiento de las aguas turbias, se ha obtenido en el espacio de cinco años una capa de sedimento de un metro de altura, y examinada una botella de agua recogida en una de las avenidas ordinarias de dicho rio, aforamos en 20 gramos el peso del tarquin seco contenido en un litro de agua turbia.

Es de la mayor importancia el conocimiento de la cantidad ponderal de limo que las aguas de los rios llevan en suspension durante las crecidas ordinarias y extraordinarias, sobre todo para el estudio de los proyectos que tienen por objeto el entarquinamiento de los terrenos bajos, sean ó no salobres, y no nos detendremos por el momento en el estudio de esta cuestion importante, reservándonos hacerlo más adelante y con el suficiente detalle en el CAPÍTULO XXIV. Fijándonos ahora tan sólo en el poder fertilizante que poseen los légamos, diremos que esta idea en términos generales no necesita demostracion, puesto que, segun la gráfica

frase de la gente del campo, los rios se llevan en sus crecidas *la flor* de las tierras superiores. Ya hemos indicado que la composicion de los légamos depende de la de las tierras de que proceden; conviene, sin embargo, llamar la atencion sobre su riqueza en principios azoados, procedentes por lo comun de las sustancias orgánicas que suelen acompañarlas. De los experimentos hechos por M. Hervé Mangon con las aguas de algunos rios de Francia, se deduce que las cantidades de ázoe contenidas en el légamo vienen dadas por las fracciones siguientes:

En el Durance.....	de 0,00071 á 0,00128
En el Var.....	de 0,00090 á 0,00470
En el Loire.....	de 0,00210 á 0,00616
En el Marne.....	de 0,00410 á 0,00980
En el Sena.....	de 0,00420 á 0,00940

Conteniendo el estiércol de cuadra 0,004 de su peso de ázoe, vemos que los légamos más pobres del Sena y Marne igualan por lo ménos en principios azoados al abono que suele tomarse como tipo.

Defectos de las aguas naturales y medios de corregirlos. Así como hemos indicado que la existencia de ciertas sustancias minerales en disolucion en el agua podia favorecer el desarrollo de la vegetacion, prestando al cultivo principios alimenticios, ó modificando en sentido favorable la fertilidad del suelo, conviene tambien añadir que una proporcion excesiva de sustancias ácidas, salinas ó astringentes, disueltas en el agua, puede atribuir á ésta cualidades nocivas y hasta hacerla impropia para el riego.

Las aguas que contengan sal comun pueden ser útiles ó perjudiciales, segun su grado de concentracion y segun la clase de cultivos á que se apliquen. De las observaciones de M. Lecoq parece deducirse que la presencia de una proporcion de dicha sal en las aguas de riego ejerce en el organismo vegetal una accion estimulante, y es sabido que entrando en gran cantidad llega á esterilizar las tierras, ó las deja á

lo sumo en aptitud de sostener una vegetacion halófila. Efectos análogos producen las aguas salitrosas: las que surten el pantano de Elche contienen una cantidad notable de nitro, que recogen en los terrenos de la cuenca del Vinalopó, de que proceden, haciéndose por esta causa incompatibles con ciertos cultivos arbóreos y arbustivos, y muy marcadamente con el de la higuera. Se acomodan, no obstante, perfectamente al granado, al algarrobo y al olivo, y sobre todo á la palmera.

Entre los labradores de Elche es práctica comun, sancionada por un éxito casi siempre seguro, el regar las palmeras durante algun tiempo con disoluciones muy concentradas de sal marina, con objeto de regenerarlas cuando presentan síntomas de languidez.

El medio natural de destruir los inconvenientes de una concentracion excesiva de las aguas saladas y salitrosas consiste en diluirlas ó mezclarlas con otras aguas más puras.

Las aguas ácidas, ya provengan sus caracteres de un principio orgánico ó inorgánico, pueden corregirse por medio de la cal, de las cenizas ó del estiércol comun. Las que contienen sulfato de hierro ó vitriolo verde se utilizan en Lombardía para el riego de los terrenos calizos. Una proporcion excesiva de sulfato de cal ó yeso en las aguas puede con el tiempo causar perjuicios á la vegetacion, formando en la superficie del terreno una costra que, de no removerse, como sucede en los prados, impida el acceso del aire á las raíces y la meteorizacion conveniente del suelo. Conviene notar, sin embargo, que el yeso es un verdadero abono para las leguminosas, y que el inconveniente citado se evita fácilmente removiendo el suelo con la rastra. De todos modos, las aguas selenitosas se mejoran por el reposo y por su contacto con los abonos orgánicos.

Las aguas fuertemente cargadas de carbonato de cal ofrecen, por sus propiedades incrustantes, inconvenientes análogos: podrán ser eminentemente útiles para el riego de

los terrenos arcillosos, por ejemplo, y ofrecer algunos inconvenientes en los terrenos fuertemente calizos. Pueden tambien mejorarse estas aguas por medio del reposo en depósitos, en cuyo caso se favorece la formacion de las incrustaciones introduciendo en ellos haces de ramaje ú otros cuerpos cuya superficie ofrezca un gran desarrollo.

Lo que hemos expuesto acerca de la influencia del aire atmosférico en la vegetacion nos dispensa de entrar en más amplios detalles sobre la necesidad de que las aguas de riego estén convenientemente aireadas, y acerca de las ventajas que en igualdad de circunstancias llevan las aguas corrientes á las pantanosas.

Para la bonificacion de las aguas encharcadas será un medio excelente, siempre que las circunstancias permitan su uso, hacerlas recorrer un largo trayecto y disponer en su curso una serie de cascadas, á fin de que, poniéndose en contacto con la atmósfera en el mayor grado posible de division, sea más fácil la absorcion del elemento gaseoso regenerante.

CAPÍTULO III.

CANTIDAD DE AGUA NECESARIA PARA EL RIEGO.

Cantidad de agua necesaria para el riego. La cantidad absoluta de agua necesaria para el riego de una cierta porcion de terreno depende de una multitud de circunstancias que hacen indeterminado el problema que tiene por objeto la investigacion de aquella. Estas circunstancias variables son: la cantidad y distribucion de las lluvias anuales, el estado higrométrico de la atmósfera, las necesidades especiales de cada cultivo, el poder absorbente y la permeabilidad del suelo y del subsuelo, el método de riego que se adopte y hasta la inteligencia del cultivador en el empleo económico de las aguas.

Es evidente que se necesitará mayor cantidad en un clima seco y cálido, que en otro húmedo y templado; bajo un cielo despejado y una radiacion solar intensa, que con una atmósfera nebulosa ó un sol velado por frecuentes nieblas; que en igualdad de circunstancias los vegetales de raíces profundas, tales como la alfalfa y la mayor parte de las plantas arbóreas, exigirán menor cantidad de agua que las de raíces superficiales, como las gramíneas de pasto y los cereales, por efecto de la mayor evaporacion que experimentan las capas superiores del terreno.

La índole especial de cada planta es un dato que conviene tomar en cuenta, porque miéntras la esparceta ó pipirigallo, por ejemplo, se da bien en terrenos tan secos como las abrasadas calizas de Extremadura, las mielgas prefieren un terreno más fresco, y sus productos aumentan

considerablemente con el auxilio del riego. Es probable que estas diferencias dependan principalmente de la mayor ó menor actividad de la traspiracion en los diversos vegetales, puesto que se observa que las plantas herbáceas y sufruticosas, que ofrecen un gran desarrollo en el sistema foliáceo, exigen riegos más abundantes y frecuentes que las que se cultivan por la obtencion de la semilla ó por el desarrollo del sistema leñoso.

Con respecto á la influencia que la naturaleza del suelo ejerce en el número y en la abundancia de los riegos, se comprende que, en términos generales, los terrenos muy absorbentes y poco permeables, como los formados por las arcillas, necesitarán riegos más abundantes, pero ménos frecuentes que los arenosos. La arena cuarzosa y la arcilla constituirán los extremos de una doble escala de permeabilidad y poder absorbente, por lo general en sentido inverso una de otra, cuyos términos intermedios estarán colocados por el respectivo órden de afinidad de caracteres con dichos tipos extremos. La arcilla absorbe el agua con avidez, pero no la da paso cuando se halla saturada; las arenas, por el contrario, con un poder absorbente casi nulo, prestan mayores facilidades á la filtracion. El conde de Gasparin admite que si basta, por ejemplo, regar cada quince dias un terreno de prado que contenga un 20 por 100 de arena, en igualdad de circunstancias habrá necesidad de regarlo á un turno de once dias, si la dosis de arena asciende al 40 por 100, y de cinco en cinco dias si se eleva al 80 por 100.

La estructura y composicion de la roca que constituya el subsuelo ejercerá, por lo general, una influencia ménos sensible en la cantidad de agua necesaria para el riego, puesto que, en la mayoría de los casos, el inteligente empleo del agua dejará la capa humedecida por el riego dentro de los límites del suelo cultivable.

La indeterminacion del problema que acabamos de plantear, sin desaparecer en absoluto, se hará menor cuando, descendiendo de los términos generales, se quiera resolver

para un caso particular en que la mayor parte de las variables que hemos enumerado sean conocidas.

Formas de representacion del volúmen de agua necesario para el riego de una hectárea de terreno. La cantidad de agua necesaria para el riego de la unidad de superficie, de una hectárea por ejemplo, puede representarse bajo tres formas distintas.

1.ª Bajo la forma de un gasto continuo expresado por un cierto número de litros en la unidad de tiempo.

2.ª Por una capa de agua de cierta altura extendida sobre dicha superficie.

Y 3.ª Por un número determinado de metros cúbicos de agua por hectárea.

Bajo la primera forma, que es la generalmente adoptada para las relaciones entre la administracion y los concesionarios de riegos, se puede deducir desde luégo el número de hectáreas regables con un caudal conocido. Por el segundo procedimiento se pueden comparar á primera vista los resultados de un riego con los de una lluvia correspondiente á determinada altura marcada por el pluviómetro. La tercera forma de representacion del volúmen permite calcular, sin ulteriores procedimientos, el número de hectáreas regables con las aguas de un depósito de capacidad conocida.

Cuando se trata de comparar los resultados de una lluvia con los efectos de un riego artificial cuya altura sea la misma que la indicada por el pluviómetro, conviene tener presente que el agua de lluvia se distribuye con más igualdad sobre el suelo que el agua de riego, y que, por consiguiente, los efectos de aquella sobre la vegetacion serán, en igualdad de circunstancias, más fecundos. Una lluvia de un centímetro de altura, por ejemplo, es bastante considerable, y sus efectos se dejan sentir notablemente en la vegetacion, sin embargo de no representar más que un volúmen de 100 metros cúbicos por hectárea.

Divergencia de opiniones entre los autores más acreditados. Los autores más acreditados, y citaremos

entre ellos á Mrs. Nadault de Buffon, Gasparin, Pareto y Hervé Mangon, ofrecen un notable desacuerdo cuando tratan de señalar tipos que den la medida del volúmen de agua necesaria para el riego de una hectárea de terreno.

M. Nadault de Buffon hace notar que una lluvia muy abundante que produzca una capa de agua de 2 á 3 centímetros de altura, penetra por lo ménos hasta 8 ó 10 centímetros de profundidad en una tierra cultivada, y poco ménos si el terreno es de prado; de manera que da lugar á un riego natural enteramente eficaz. Efectivamente, la humedad producida, no sólo penetra hasta el nivel inferior de las raíces, sino que alcanza hasta la frescura natural del suelo, que rara vez se halla á un nivel más bajo de 8 ó 10 centímetros, áun despues de períodos de sequedad de más de siete dias, que son los que corresponden á las tandas de riego más comunes.

Por consiguiente, con riegos semanales de 3 centímetros de altura, que equivaldrian á un gasto continuo de medio litro por segundo y hectárea, habria suficiente, si fuera dable aprovechar completamente las aguas y distribuirlas con perfecta igualdad; pero no siendo esto posible las más de las veces, puesto que ocurren pérdidas por distintos conceptos, se adopta como término medio abundante 0,75 litros por segundo y hectárea, lo cual equivale á suponer que con un litro continuo de agua se puede regar al turno de siete dias hectárea y media de terreno, y con un metro cúbico por segundo 1.500 hectáreas.

El citado autor resume en un cuadro la cantidad de agua consumida por el riego en varias comarcas de Francia, la cual varía entre 146 y 1.800 metros cúbicos por riego y héctárea, cuyos volúmenes corresponden, el primero á una temporada de ciento ochenta dias y á un gasto continuo de 0,169 litros, y el segundo á ciento cincuenta dias y á 2 litros por segundo.

El conde de Gasparin admite que en el clima de la Provenza, y en los casos ordinarios, se necesita para cada riego

una capa de 8 á 10 centímetros de altura, ó sea de 800 á 1.000 metros cúbicos de agua por hectárea; de manera que, fijando el intervalo entre dos riegos consecutivos en diez ó doce dias, corresponde próximamente á la cantidad de agua que proporcionaria un gasto continuo de un litro por segundo, que es de 15.552 metros cúbicos para los seis meses de la temporada normal del riego.

Pareto cita algunos riegos para los cuales el gasto continuo apenas llega á un cuarto de litro por segundo y hectárea. Y finalmente M. Hervé Mangon ha practicado aforos en el departamento de Vaucluse, de los cuales deduce que el gasto de agua varía para la unidad citada entre uno y 4 litros por segundo.

Esta discordancia de opiniones es, sin embargo, más aparente que real, y procede de la adopcion de términos medios entre los cultivos de una misma zona, de los cuales se quiere deducir el volúmen correspondiente á cada riego, sin tener siempre en cuenta el número de riegos en que dicho volúmen se distribuye.

Equivalencia del gasto continuo de 1 litro por 1″. Un litro por segundo produce un volúmen de agua de 86,40 metros cúbicos en veinticuatro horas, y suponiendo que se rieguen todos los campos de una misma zona una vez á la semana, aunque la tanda más comun es la de diez á quince dias, podrán emplearse en cada riego $86{,}4 \times 7 = 605$ metros cúbicos, cuyo volúmen, extendido sobre una superficie de una hectárea, produciria una capa de agua de 6 centímetros de altura, superior en general á las necesidades del riego.

Observaciones hechas en un campo de Barcelona. Deseando contribuir con nuestro modesto concurso al esclarecimiento de una cuestion tan interesante como es la que se refiere á la determinacion de la cantidad de agua necesaria para el riego, nos decidimos, durante nuestra estancia en Barcelona en el verano de 1875, á acometer una serie de experiencias que, aunque relativas á un clima, un terreno y un

cultivo concretos, pueden, sin embargo, dar alguna luz respecto á los terrenos de naturaleza y condiciones análogas. Tomamos como campo de investigaciones una pequeña propiedad que posee nuestra familia al pié de la montaña de Monjuich, extramuros de la capital del Principado, y cuya superficie viene á medir próximamente una hectárea. El elemento mineralógico dominante en el suelo es la arcilla, cuya compacidad se halla algo corregida por el uso de los abonos orgánicos: para el riego se utiliza el agua que da una noria situada en la misma finca, resultando por consiguiente insignificantes las pérdidas que por evaporacion y filtracion experimenta el agua á su paso por las regueras. La proximidad de un gran centro de consumo y las condiciones del mercado de la capital determinan un cultivo intensísimo, que se manifiesta por la presencia casi constante de dos cosechas en pié, una en sazon, destinada á la venta diaria, y otra que se ha trasplantado ántes de arrancar la que le precede, y que, si no medra, cuando ménos arraiga bajo la sombra de la primera.

Subordinado el cultivo de esta huerta á las exigencias del consumo, generalmente se arranca la planta ántes de que haya recorrido todas las fases de la vegetacion, siendo por lo tanto muchos y muy variados los cultivos que se suceden dentro de un mismo año.

Con respecto á la permeabilidad del terreno, observamos que un riego equivalente á 1,050 metros cúbicos por hectárea, dado *á manta*, es decir, cubriendo toda la superficie, á una tabla de plantel rica en mantillo, pero cuya base mineralógica está constituida por la arcilla, profundizó hasta 0,25 metros; de modo que la relacion entre la altura de la capa de agua correspondiente al volúmen del riego y la profundidad hasta la cual quedó mojado el terreno es de $\frac{10}{25}$. En otras tablas de terreno ménos suelto, dispuestas en surcos de $0^m,40$ de ancho, separados por caballetes de igual dimension, un riego de 600 metros cúbicos por hectárea profundizó en los surcos hasta $0^m,22$, quedando en seco las fajas

formadas por los respectivos caballetes. La relacion entre la altura del riego y la profundidad alcanzada por el agua es en este caso $\frac{12}{22}$.

Hecho el cálculo del agua consumida por el riego, resultan:

Para los meses de Enero á Mayo inclusive, á razon de cuatro riegos mensuales de 42 milímetros de altura, un gasto continuo de 0,66 litros por segundo y hectárea.

Para los de Junio, Julio y Agosto once riegos mensuales y un gasto continuo de 1,81 litros.

Para los cuatro meses restantes, á razon de cinco riegos mensuales, ó sea 0,82 litros por segundo.

De estos datos se deduce que el gasto medio continuo para todo el período anual es de 1,09 litros por segundo y hectárea, no tomando en cuenta las pérdidas por evaporacion y filtracion, que en nuestro caso especial pueden considerarse casi nulas.

Tipos oficialmente adoptados. La administracion francesa suele adoptar en las concesiones de agua para riegos el tipo de *un litro* por segundo y hectárea; en España asigna generalmente el Gobierno *medio litro* por segundo y hectárea para las concesiones de canales de riego. El primer tipo pecará por excesivo en la generalidad de los casos; el segundo por insuficiente en vista de las razones que dejamos apuntadas; y opinamos, por lo mismo, que el tipo medio de 0,75 litros por segundo y hectárea puede considerarse como más adecuado á las condiciones normales de nuestras comarcas agrícolas.

Consumo de agua en las principales zonas agrícolas de España. *Ter.*—En las vegas del rio Ter, que corre por la provincia de Gerona, la cantidad de agua que se dedica al riego equivale á un gasto continuo de 1,14 litros por segundo y hectárea: la temporada de riegos dura desde Mayo á Setiembre, y la tanda normal del riego suele ser de diez á doce dias.

Besós.—En la vega del rio Besós, beneficiada por la acequia de Moncada, se emplean 500 litros en el riego de 680

hectáreas, correspondiendo á la unidad de superficie 0,74 litros por segundo.

Llobregat.—En los canales de Manresa, de la Infanta y de la derecha, derivados del rio Llobregat, el tipo normal continuo asciende á un litro por segundo.

Ebro.—Los canales de Tauste é Imperial, derivados del Ebro, suministran para el riego tambien un litro por segundo y hectárea.

Turia.—Las ocho acequias inferiores del Turia riegan 10.500 hectáreas con un volúmen mínimo de 11.250 litros, correspondiendo á la hectárea 1,06 litros.

Júcar.—La acequia real del Júcar, cuyo aforo hemos practicado, conduce 26.381 litros por segundo, y riega 13.844 hectáreas, y corresponde por lo tanto á la unidad de superficie 2 litros por segundo. Hay que advertir, sin embargo, que próximamente la mitad de aquella superficie se halla dedicada á arrozales que consumen cerca de dos litros y medio por segundo y hectárea. La acequia de la villa de Játiva, cuyo caudal tambien hemos aforado, suministra el riego á una zona de huerta á razon de 1,67 litros por segundo y hectárea. La acequia de Meses, de la misma jurisdiccion de Játiva, con un volúmen de 614 litros riega 256 hectáreas de arrozal, correspondiendo á la unidad 2,4 litros por 1".

Segura.—En la huerta de Murcia, que abraza una extension de 10.769 hectáreas, sólo se riegan con aguas vivas del Segura unas 8.000, puesto que las demás aprovechan las aguas muertas de los azarbes; y quedando el rio reducido en años secos á 8 ó 9 metros cúbicos por segundo por cima de la Contraparada, el consumo correspondiente á la unidad de superficie viene á ser de un litro por segundo, despues de deducidas las pérdidas por evaporacion y filtracion en el largo desarrollo de acequias y brazales que forman la red distributiva.

En Lorca se riegan 11.000 hectáreas con un caudal mínimo de 340 litros por segundo, que es el de estiaje del Guadalentin; de modo que, calculado el consumo con relacion á

la superficie, resulta tan sólo de un décimo de litro por segundo y hectárea, cuyo gasto es á todas luces insuficiente. Explica esta aparente anomalía la distribucion que los cultivos tienen en dicha huerta, dedicada en su mayor parte á cereales de invierno, los cuales sólo reciben ordinariamente dos riegos al año, pasándose sin ninguno en años de lluvias abundantes. El elevado precio que las aguas de riego adquieren en la vega de Lorca limita extraordinariamente la extension de los cultivos veraniegos, los cuales se hallan casi circunscritos á la superficie que goza del privilegio de poseer las aguas á título gratuito.

Jarama.—Segun el Ingeniero Sr. Fernandez, el consumo de agua por segundo y hectárea es de 1,950 litros en las huertas regadas por el canal de San Fernando.

Genil.—El rio Genil suministra á la real acequia de Granada durante el estiaje 2 metros cúbicos por segundo, con cuyo caudal se riegan 6.900 hectáreas. Deduciendo el promedio por hectárea resultan 0,29 litros; pero esta cifra así hallada sería insuficiente para un cultivo intenso en la totalidad de la zona, hecho que viene comprobado por la distribucion de los cultivos en la vega, la cual se halla dedicada en su mayor parte á cereales que no necesitan riego durante los meses de verano. El rio Genil es de los pocos de España que cuentan con recursos permanentes de alimentacion, puesto que, llegado el mes de Mayo, cuando por la disminucion de las lluvias empiezan á decrecer las aguas, se inicia el deshielo en las cumbres de Sierra Nevada, el cual aumenta considerablemente su volúmen hasta fines de Julio. Llegado el caso de la licuacion de las nieves, ni se observa órden alguno en los riegos, ni hace falta alguna, porque hay agua sobrante para todas las necesidades. Sólo algunas veces en los meses de Agosto y Setiembre hay precision de establecer el tandeo prescrito en el *apeo* de Loaysa, del cual nos ocuparemos con algun detalle cuando en el TOMO II tratemos de dar á conocer los riegos de la célebre vega granadina.

Número y duracion de los riegos segun los cultivos. La fijacion del número de riegos que los diferentes cultivos necesitan, obedece á causas de indeterminacion análogas á las que hemos enumerado al plantear el problema que tenía por objeto asignar el volúmen de agua necesario á la unidad de superficie. En igualdad de condiciones pueden tambien resultar diferencias en el número de riegos asignable á un cultivo concreto, por efecto de distribuir un mismo volúmen total de agua en tandas de duracion distinta. No creemos, sin embargo, desprovistos de interés los datos que á continuacion insertamos, para cuya adquisicion hemos procurado completar nuestra propia observacion con el testimonio de las autoridades científicas, y con el de varias personas prácticas é inteligentes de diversas comarcas agrícolas de España.

Arroz.—Los arrozales sólo necesitan el agua durante tres meses del año, esto es, desde el 15 de Mayo, en que se verifica el trasplante, hasta mediados ó últimos de Agosto, en que se procede á la siega. El riego es continuo y á manta; los tablares, desde mediados de Mayo ó principios de Junio hasta la siega, están cubiertos por una capa de agua de 7 á 8 centímetros, la cual debe irse renovando por medio de boquetes abiertos á la correspondiente altura en el caballon de recinto. El consumo de agua durante el citado período es de 2,40 litros por segundo y hectárea, segun los resultados de nuestras experiencias hechas en los arrozales de la ribera del Júcar. Entraremos en más amplios detalles acerca de este cultivo al ocuparnos en el CAPÍTULO XIX del riego de los terrenos laborables.

Trigo.—El trigo es poco exigente en materia de riegos. En la huerta de Valencia se da un riego al terreno ántes de proceder á la siembra; empieza á regarse la planta en el mes de Marzo, se le da otro en Abril y vuelve ordinariamente á regarse despues de la escarda, á principios de Junio. Con ligeras variaciones, ó de una manera análoga, se procede en las vegas de Cataluña, Aragon, Murcia y Granada.

La cebada no suele regarse en las vegas de Granada más que una vez al año, en el mes de Abril.

Maíz. — En la huerta de Valencia se siembra por lo comun del 15 al 24 de Junio, luégo de segado el trigo; en las tierras que han estado de barbecho se le siembra en Mayo. Durante su vegetacion hasta fines de Setiembre ó mediados de Octubre, recibe ocho riegos. Segun M. Aymard, en la Argelia se riega el maíz cada diez ó quince dias, y el volúmen de agua que se le asigna viene representado por un gasto continuo de 0,26 á 0,60 litros por segundo y hectárea.

Panizo.—Segun nuestro distinguido amigo y respetable compañero el Excmo. Sr. D. Agustin Pascual, en Lorca se regulan los riegos del panizo por las consideraciones siguientes: 1.ª Las tierras en que domina la arcilla necesitan riegos más copiosos y ménos frecuentes que aquellos en que abundan la arena y la cal. 2.ª Necesita el panizo mucha humedad cuando va á desarrollarse la panocha y cuando cierne. 3.ª Cesa el riego apenas está la simiente á medio granar. Y 4.ª El color verde oscuro de las hojas es indicio de robustez, el mustio y reseco de falta de riego, y el verde amarillento de exceso de humedad. En Lorca dan al panizo tres ó cuatro riegos en la temporada: en la Mancha suelen darle más; pero en concepto de un observador inteligente, con graves y trascendentales perjuicios. La enfermedad que llaman *sorongo* en Daimiel y en otros pueblos de la Mancha, es, á juicio de D. Mariano Lagasca, una caquexia producida por los riegos frecuentes y copiosos que introducen en la planta una cantidad de jugos mal elaborados é impropios para la formacion de los órganos sexuales, en cuyo lugar sale un manojo de hojas amarillentas. Este mismo fenómeno se reproduce con mucha frecuencia en las plantas cultivadas con esmero y por muchos años en los jardines, y puede evitarse mediante el cambio de simiente y distribuyendo convenientemente los riegos.

Judías.—Cuando su cultivo recorre todas las fases de la

vegetacion, suele durar tanto como el maíz, al cual se asocia muchas veces en los mismos tablares. Exige riegos de ocho en ocho dias; pero debe darse el agua con cierta parsimonia, puesto que si los tablares llegan á embalsarse corre la planta peligro de perderse.

Cacahuete. — El cacahuete, que tan importante papel desempeña en la produccion de la huerta de Valencia, se siembra en Abril y se recoge en Octubre; de manera que permanece en el suelo durante cinco ó seis meses. Antes de la siembra suele darse un riego al terreno, y luégo la tanda comun es de diez dias, resultando un total de unos diez y ocho riegos anuales.

Alfalfa.—Exige riegos de ocho en ocho dias durante los meses de calor, y de quince en quince, si no llueve, en los restantes del año, resultando un total de treinta y un riegos. En Alcira se le dan doce cortes: en los sitios ménos privilegiados de la huerta de Valencia sólo permite de siete á cinco. En las vegas del Ter no permite más de cinco cortes, y suelen dársele diez riegos al año.

Zanahorias y otras plantas forrajeras anuales. —En la huerta de Valencia suelen sembrarse á voleo desde el 24 de Junio al 15 de Agosto. Poco despues se riegan, y en el espacio de unos quince dias se le dan tres riegos, y luégo otros tres de diez en diez dias. En la totalidad de su período de vegetacion suelen llevar ocho riegos. Se arrancan en Febrero ó Marzo.

Cáñamo.—En la huerta de Valencia y en el llano de Barcelona se siembra el cáñamo á últimos de Marzo y se arranca á mediados de Julio, recibiendo durante este período cuatro riegos abundantes.

Naranjo.—Es sabido que el naranjo prospera en terrenos fértiles y porosos, donde el agua se infiltra fácilmente, sin llegar nunca á embalsarse. Se da perfectamente en la marga arenisca en Orihuela, en la arenisca silíceo-caliza-ferruginosa en Alcira y Carcagente, y en las arenas graníticas *(sauló)* en Canet y demás pueblos de la costa de Barcelona,

siempre que se le proporcione el suficiente abono. La arcilla compacta es perjudicial á su cultivo: perece cuando hiela y enferma cuando le falta ó sobra agua. En los huertos de Alcira y Carcagente, desde Abril hasta Octubre, se riegan los naranjos cada ocho ó quince dias. En invierno riegan los naranjos cuando el tiempo está muy seco ó muy frio, porque se ha observado que resisten mejor los frios estando recien regados. Segun Cavanilles, en la huerta de Orihuela y tierras del mismo temperamento deben regarse cada veinte dias, desde Febrero hasta Noviembre, y nunca en invierno, á ménos que la estacion sea muy seca.

La notable diferencia que se observa en el número de riegos que en Orihuela y Alcira se asigna respectivamente al mismo cultivo, es probable dependa del mayor ó menor volúmen de agua destinada á cada riego, porque en el primer punto se riegan los naranjales con agua de pié, y en el segundo por medio de norias y actualmente muchos por medio de bombas movidas por máquina de vapor. Tal vez contribuya tambien á dicho fenómeno la influencia del subsuelo, que es impermeable en Orihuela, por cuya razon conserva el terreno la humedad por más tiempo que en los sueltos y porosos que constituyen la base de los naranjales de Alcira. En los naranjales de Carcagente y Alcira el término medio del volúmen de agua suministrado á cada riego es de 45 metros cúbicos por hanegada ó de 540 por hectárea.

Segun M. Aymard, una hectárea de naranjal necesita en la Argelia la misma cantidad de agua que una hectárea de huerta; pero la primera se riega una sola vez á la semana, miéntras que la segunda necesita ser regada dos veces.

Prados. — M. Nadault de Buffon fija en $^1/_4$ de litro por segundo el gasto continuo necesario para el riego de una hectárea de prado. Suponiendo de ciento ochenta dias la temporada del riego y de diez el turno, corresponden á cada riego 216 metros cúbicos de agua, y resultarian 278 si la tanda fuese de catorce dias.

En vista de las consideraciones anteriormente expuestas,

puede casi asegurarse que estos volúmenes serian en nuestro país insuficientes, áun estableciendo paridad de condiciones entre el terreno que dicho autor eligiera como tipo, y el del cultivo análogo tomado en España; y confirma nuestra opinion el tipo de 1.000 metros cúbicos por riego que asigna el conde de Gasparin á la hectárea de pradería en el clima de Vaucluse, cuyo tipo hemos tenido ocasion de comprobar prácticamente en nuestra excursion de estudio de los riegos del Mediodía de Francia, realizada en el verano de 1880. Indudablemente los dos autores citados, al hablar de la cantidad de agua necesaria á los prados, deben referirse á los riegos de verano, puesto que, segun veremos en el CAPÍTULO XXI, los riegos de invierno suelen darse en Francia, lo mismo que en Inglaterra y Alemania, con volúmenes de agua muchísimo mayores.

Vid y olivo.—En las vegas de los rios Ebro, Segura, Júcar, Guadalaviar y Tajuña suelen regarse la vid y el olivo con ventajas positivas para la produccion, obteniéndose con ello un notable aprovechamiento de las aguas invernales. La práctica más generalmente seguida en dichas localidades consiste en dar un par de riegos al año á los viñedos y olivares que por su situacion pueden gozar de este privilegio.

CAPÍTULO IV.

PRECIO DEL AGUÁ.

La determinacion del precio del agua constituye en términos generales un problema de resolucion difícil, puesto que áun reduciéndolo á fijar el valor pecuniario asignable á un cierto volúmen de agua para un tiempo dado, sin tomar en cuenta las exigencias de los diversos cultivos, no puede eliminarse el factor principal, que es la utilidad, variable con los tiempos y los lugares. Es evidente que las condiciones naturales de fertilidad de un terreno, la mayor ó menor facilidad de encontrar abonos, mano de obra y trasportes baratos y centros de consumo ventajosos, harán que un mismo volúmen de agua posea grados de utilidad muy diversos, y que, como consecuencia inmediata, puedan exigirse por ella sacrificios proporcionados, miéntras no se llegue á rebasar el límite de la conveniencia del usuario.

En el capítulo de INTRODUCCION hemos examinado los distintos caracteres que los negocios de riegos revisten, segun que corran de cuenta del Estado ó de una empresa particular, atendiendo á que el primero, además del ingreso directo representado por el cánon, percibe por otros mil conductos parte de la riqueza que con el uso del riego se produce, miéntras que la segunda sólo puede contar con el rendimiento inmediato del beneficio que presta.

No insistiremos sobre el caso particular en que la empresa de riegos corre de cuenta del Estado, y pasaremos á examinar los intereses recíprocos de una sociedad particular con-

cesionaria de las aguas y de los agricultores que pueden utilizarlas.

Admitida la libertad de tarifas, entran las aguas en la categoría de una mercancía cualquiera: sin embargo, en nuestro humilde concepto, al conceder el Estado á una empresa particular una parte más ó ménos considerable de las aguas públicas, establece un monopolio á favor de la misma, y tiene, por lo tanto, el derecho y el deber de fijar una tasa ó un cánon máximo, á fin de que no resulten defraudados los intereses para cuyo desarrollo y prosperidad fué la concesion otorgada.

Partiendo de este principio, entraremos en el estudio del máximo cánon exigible por hectárea; y con el objeto de concretar la cuestion y hacerla más tangible, nos fijaremos en un caso particular, sobre el cual tuvimos que emitir informe como vocal ponente de la Junta provincial de Agricultura, Industria y Comercio de la provincia de Gerona en Mayo de 1868.

Tratábase de fijar el cánon por hectárea conveniente á la empresa del canal denominado *Riegos del Ampurdan* y á los agricultores de la zona por dicho canal beneficiable. El presupuesto de la obra ascendia á la suma de 9.879.112 reales vellon, la cual debia invertirse por partes iguales en los cuatro años que el período de construccion comprendia. Calculamos el cánon exigible á los regantes de la manera siguiente:

	Reales.
Coste de las obras.....	9.879.112
5 por 100 del capital invertido por cuartas partes en cada uno de los años del período de construccion.....	1.250.000
TOTAL CAPITAL.....	11.129.112
10 por 100 del capital anterior.....	1.112.911
1 por 100 de amortizacion.....	111.291
2 ¼ por 100 por conservacion y administracion.....	220.000
TOTAL.....	1.444.202

Suma anterior.....	1.444.202
248 caballos de vapor, los cuales, despues de deducido el 25 por 100 por resistencias pasivas, se convierten en 186, que á 500 rs. uno, dan.....	93.000
Cantidad que anualmente debe producir el riego.....	1.351.202

Dividiendo esta cantidad por 7.497, que expresa el número de hectáreas regables, se obtiene un cánon anual por hectárea de 180 rs. Admitiendo que las condiciones del proyecto permitan asignar á la unidad de superficie veinticuatro riegos anuales de á 500 metros cúbicos uno, sale cada riego á 8,5 rs. vn., ó á 17 milésimas de real el metro cúbico de agua.

Desde luégo se echa de ver que la empresa concesionaria necesita contar para sus cálculos con la duracion del período que naturalmente ha de trascurrir ántes de que el riego se extienda por toda la zona, tiempo durante el cual sólo percibirá una parte de los ingresos calculados. Es preciso además, si no quiere exponerse á graves quebrantos, que el cánon fijado, ya se adopte como criterio la intensidad del cultivo, ya el volúmen absoluto de agua concedida, corresponda al promedio general de todas las parcelas enclavadas en la zona.

Volviendo al cánon de 180 rs. ántes calculado, veamos si resulta beneficioso para el agricultor, y si le estimula suficientemente para el cambio de cultivo, y para ello condensaremos el razonamiento en los siguientes cuadros:

SECANOS.

		Reales.
Producto bruto anual de una hectárea de buena tierra de secano.....		1.200
Importe de labores y siembras.....	144	
Idem de abonos.....	400	
Idem de recoleccion y trasporte al granero... .	120	
	664	1.200

Sumas anteriores.....	664	1.200
Interés al 6 por 100 del anticipo correspondiente á los gastos anteriores..... ...	39	
Seguros contra inundaciones, etc., 10 por 100..	70	
TOTAL.....	773	773
Diferencia con el producto bruto.....		427
Contribucion directa é impuestos municipales, 20 por 100..		71
PRODUCTO NETO ANUAL.....		356

Este producto, capitalizado al 3 por 100, da un valor en venta de 11.866 rs. la hectárea, ó 243 libras catalanas la vesana (1), cuyo tipo se aproxima bastante á la realidad.

REGADÍOS.		Reales.
Producto bruto de una hectárea.....		8.000
Labores y siembras.....	288	
Abonos.....	600	
Recoleccion y trasporte.....	240	
	1.128	
Interés al 6 por 100 del anticipo para los gastos anteriores.....	68	
TOTAL.....	1.196	
Seguros, 10 por 100.....	120	
Interés y amortizacion de un capital de 5.000 reales vellon destinado á la preparacion de la tierra para el riego, al 7 por 100.....	350	
Compostura de carros, atalajes, herramientas, etc., 10 por 100.....	120	
Precio del agua.....	180	
	1.966	1.966
Diferencia con el producto bruto.....		1.034
Contribucion y recargos municipales, 20 por 100.....		206
PRODUCTO NETO ANUAL.....		828

(1) Una vesana de Gerona = 0,2187 hectáreas.

que capitalizado al 3 por 100, representa la cantidad de 27.600 rs. vn. por hectárea, ó de 565 libras catalanas por vesana, cuyo tipo difiere poco del precio ordinario de las tierras de regadio.

Ahora bien: comparando el producto líquido de la hectárea de secano con el de la misma superficie convertida en regadio, se obtiene la relacion $\frac{1}{2,33}$, lo cual prueba que con el empleo del riego ha aumentado casi dos veces y media la renta líquida.

La simple inspeccion de los cuadros anteriores indica la naturaleza de las investigaciones á que para cada caso particular hay que proceder, con el fin de averiguar entre qué límites deberá hallarse comprendido el cánon para que sea beneficioso á los regantes. Las consideraciones expuestas ponen tambien en evidencia la necesidad en que se encuentra la empresa de realizar el proyecto de aprovechamiento de aguas con la mayor economía posible, á fin de no verse obligada á exigir tipos demasiado elevados, que pudieran no ofrecer estímulo suficiente al cambio de cultivo.

Precio á que se paga el agua de riego en varias comarcas de España. La mayor parte de los aprovechamientos de agua con destino al riego proceden de antiguas concesiones hechas en términos sumamente vagos; y los precios, bajos por regla general, se fijaron y los ha conservado la tradicion más bien como derechos señoriales que como verdadera remuneracion de un servicio prestado, cuando no proceden de la parte proporcional que corresponde á cada uno de los usuarios en concepto de gastos de administracion y conservacion de obras llevadas á cabo por generaciones anteriores.

En la cuenca del Ter suele pagar á razon de 72 rs. anuales la hectárea de terreno que se riega con las aguas de las acequias derivadas de dicho rio, principalmente y desde antiguo dedicadas al movimiento de artefactos.

En la cuenca del Besós, el tipo medio del cánon de riego con las aguas de la acequia de Moncada es de 56 rs. por hectárea.

En los riegos del Llobregat ofrece el cánon diferencias esenciales, segun los canales de que las aguas proceden. En el canal de Manresa se pagan 50 rs. por hectárea; en el de la Infanta el riego es ordinariamente gratuito, puesto que el sindicato puede atender á los gastos de administracion y conservacion con los productos obtenidos mediante el arriendo de algunos artefactos de su propiedad. Sin embargo, para hacer frente á los gastos de construccion de las obras del canal, ejecutadas en 1819, y cuyo importe fué de 4.350.000 reales, se hizo un reparto entre los propietarios de las 6.000 *mojadas* regables, correspondiendo á cada uno 725 rs. por mojada ó 1.650 por hectárea, pagados en una sola vez; y esta es la cantidad que en concepto de pago único se sigue exigiendo á los nuevos usuarios que por cualquier concepto no han utilizado anteriormente las aguas del canal, y se deciden á preparar las tierras para el disfrute del riego.

En el canal de la derecha del mismo rio, perteneciente hoy al Estado, que lo administra por medio de sus agentes afectos al servicio de obras públicas, las tarifas de riego varian en la forma siguiente:

			Hectárea — *Reales*
Entarquinamiento sin cultivo..			22
Riegos con cultivo.	Superficies menores de 25 hectáreas	1.ª clase.	124
		2.ª idem.	103
		3.ª idem.	82
	Superficies mayores de 25 hectáreas, precio discrecional, comprendido entre 48 y		120

En el canal Imperial el precio del agua destinada al riego por tiempo indeterminado, siempre que éste exceda de un año, es de 8.000 rs. por cada muela de 260 litros, ó de 30 reales por litro continuo durante el dia natural, con arreglo á la Real órden de 30 de Setiembre de 1857. Para los suscritores por tiempo fijo varía el precio del agua segun el plazo por que la solicitan, siendo tanto mayor el precio de la muela, cuanto menor es el período por que se pide.

En el canal de Urgel se paga por término medio 229 reales por hectárea.

En las huertas de Valencia, así en los campos que fertiliza la caudalosa acequia Real del Júcar, como en los que fecundizan las ocho acequias derivadas del Turia, el cánon se divide en dos partes: una fija, llamada *tasa* ó *tacha*, que tiene por objeto hacer frente á los gastos de conservacion y administracion, y viene á ser por término medio de 7 á 8 reales al año por cahizada, ó de unos 15 rs. por hectárea, y la otra variable, que se denomina *cequiaje*, y se destina á satisfacer los gastos de limpia de las acequias. El cánon normal no suele pasar de 18 rs. por hectárea.

En la huerta de Alicante, cuyas tierras se riegan casi en su totalidad con las aguas del pantano de Tibi, se venden éstas tomando por unidad la *hora de dula*, llamada tambien simplemente *hora*. Siendo la *dula* una corriente que suministra un gasto de 128 litros por segundo, corresponde á la hora un caudal de 460 metros cúbicos, algo escaso para el riego de una hectárea de terreno. El precio de la *hora* varía segun la abundancia ó escasez de aguas entre 10 y 250 reales.

En Almansa hay tambien un pequeño pantano que riega una sola vez al año una superficie de 700 hectáreas, por más que la zona regable sea de 1.400, y se paga en concepto de cánon 8 rs. por fanega, ó 12 rs. por hectárea y riego.

En la huerta de Lorca, desde la ruina del pantano de Puentes y el abandono del de Valdeinfierno, sólo se dispone del agua corriente del rio, cuyo gasto normal es, segun el Sr. Musso y Fontes, de 340 litros por segundo. Estas aguas son de propiedad particular y se venden en pública subasta en la forma que en el lugar oportuno del Tomo II indicaremos. Segun los estados de recaudacion correspondientes al año 1861, ascendió en dicho año el importe total de la venta á la cantidad de 2.500.000 rs.; de modo que el valor de un litro continuo viene á ser de 7.400 rs., y el precio medio de un riego de 500 metros cúbicos para una hectárea de terreno asciende á 120 reales.

En las vegas de Granada se paga de 1 á 2 rs. por el riego de un *marjal*, ó sea de 20 á 40 rs. por hectárea; pero los regantes costean además la conservacion de las acequias y brazales, y este segundo gasto varía naturalmente de un año á otro.

Para el canal de Henares fijó el Gobierno un cánon máximo de 344 rs.; para el del Lozoya calculó el Ingeniero señor de Ribera, que un litro continuo por segundo destinado al riego debia costar 228 rs. anuales; y finalmente, en la zona beneficiada por el canal del Esla, el cánon varía, segun los cultivos, entre 72 y 389 rs. por hectárea.

No añadiremos nuevos datos con referencia á canales extranjeros, puesto que los tipos respectivos varian de una manera análoga segun las circunstancias.

Tampoco entraremos en el estudio del precio del agua elevada por medios mecánicos, dejándolo para el CAPÍTULO XVII, en que examinaremos los diversos procedimientos al objeto empleados; haremos notar, sin embargo, que en casos muy especiales en que la explotacion agrícola adquiere por condiciones de mercado un carácter verdaderamente industrial, hemos visto realizarse el fenómeno de que existiera estímulo para el cultivo de regadio, áun costando el agua á razon de medio real por metro cúbico.

Precio del agua como fuerza motriz. En el estudio de los proyectos de canales de riego, de que más adelante nos ocuparemos, merece una atencion especial el aprovechamiento de las aguas como fuerza aplicada al movimiento de artefactos; y como los rendimientos que por este concepto percibe la empresa, constituyen, segun hemos visto, un factor que se toma en cuenta al tratar de deducir el cánon de riego, creemos conveniente entrar en algunos pormenores sobre el precio del agua como fuerza motriz utilizable en los establecimientos industriales.

El trabajo realizado por el agua en su movimiento por los canales, depende de la masa y de la velocidad adquirida, ó reduciendo la cuestion á términos mejor apreciables, del

volúmen del agua y de la altura ó desnivel del salto. Admitiremos como unidad de trabajo el caballo de vapor, ó sea el trabajo dinámico que se realiza al elevar á un metro de altura en un segundo de tiempo un peso de 75 kilógramos; de modo que el caballo de vapor ó hidráulico, llamado de una ó de otra manera, segun sea el agente mecánico la fuerza expansiva del vapor, ó un salto de agua, equivale á 75 kilográmetros. Un metro cúbico de agua, de una densidad que supondremos tipo, pesa 1.000 kilógramos, y cayendo de un metro de altura realiza un trabajo de diez caballos, partiendo del supuesto de que los receptores hidráulicos consumen en resistencias pasivas el 25 por 100 del trabajo motor que reciben. El caballo hidráulico será, por lo tanto, bajo dicho supuesto, el trabajo que realice un volúmen de 100 litros de agua cayendo de un metro de altura, y equivaldrá, por consiguiente, á 100 kilográmetros. Para hallar el número de caballos de que es susceptible un salto, no habrá más que multiplicar el volúmen de agua por segundo, tomando por unidad el hectólitro, por la altura del salto, tomando por unidad el metro. Así, por ejemplo, si queremos calcular el trabajo que puede proporcionar un volúmen de agua de 2,5 metros cúbicos, cayendo de dos metros de altura, tendremos 25 hectólitros $\times$ 2 metros $=$ 50 caballos. Si se quiere hallar cualquiera de las tres cantidades, conocidas dos de ellas, llamando n al número de hectólitros de agua por segundo, a á la altura en metros y c al número de caballos, tendremos:

$$c = n \cdot a \ldots\ldots n = \frac{c}{a} \ldots\ldots a = \frac{c}{n} ,$$

fórmulas que se traducen fácilmente al lenguaje vulgar.

Si se quisiera hacer el cálculo del trabajo dinámico para un receptor cualquiera, habria que multiplicar el gasto por segundo en litros de agua por la altura del salto en metros, y el producto daria el trabajo en kilográmetros. Dividiendo este producto por 75, el cociente expresaria el trabajo *teórico*

del salto en caballos. Para hallar el trabajo efectivo habria que multiplicar el trabajo teórico por la fraccion $\frac{x}{100}$ siendo

para las ruedas inferiores		de paletas	planas...	$x = 25$
—	—	—	curvas...	$x = 60$
—	de costado	—	planas...	$x = 65$
—	de cajones		.....	$x = 75$

Para deducir los límites que deben asignarse al precio del agua empleada como motor en los establecimientos industriales, hay necesidad de comparar los gastos inherentes á la fuerza hidráulica con los que exige una fuerza equivalente suministrada por un receptor de vapor.

La compra de una máquina de vapor, destructible por el uso en un número de años que no suele pasar de diez, puede calcularse á razon de unos 5.000 rs. por caballo, áun tratándose de máquinas de gran potencia. Al interés y considerable amortizacion de este capital, que no debe fijarse en ménos de un 16 por 100, hay que añadir un gasto mínimo de 8.354 reales, en esta forma:

	Reales
Por 300 quintales de carbon á 8 reales uno	2.400
Por entretenimiento de maquinaria y consumo de agua y sebo..	330
Por un fogonero y maquinista por cada 30 caballos.....	624
Total.....	3.354
que con el interés y amortizacion de los 5.000 reales de adquisicion de la máquina.....	800
forman un total de (1)...	4.154

El coste de un receptor hidráulico, variable segun su naturaleza y sistema, y segun las condiciones de mercado, puede fijarse como término medio en 1.200 rs. por caballo; su duracion es muy considerable, puesto que los dete-

(1) Estos datos proceden de un cálculo hecho sobre las principales fábricas de Cataluña y suponiendo un trabajo diario de once horas.

rioros se reducen á su oxidacion, si es de metal, ó á la inutilizacion de alguna pieza, de tarde en tarde, si es de madera. Partiendo de este supuesto, el interés al 6 por 100 del capital de adquisicion ascenderá á 72 rs., y si se incluyen los gastos de conservacion, podrá fijarse como máximo gasto anual la cifra de 200 rs. por caballo. El precio del agua será un sumando que habrá que agregar á la cifra de 200 rs. para la deduccion del coste del caballo hidráulico. Comparando este coste con los 4.154 rs. que hemos deducido para el caballo de vapor, tendremos la economía realizada mediante el empleo del agua como fuerza motriz.

En la asignacion del precio del agua como motor ejercen una influencia decisiva las circunstancias particulares del sitio donde se halla el salto aprovechable. En efecto, establézcase la fuerza hidráulica más considerable en regiones apartadas de los centros de depósito y produccion de primeras materias, de los mercados naturales de los productos elaborados, y con difíciles comunicaciones, y se verá que, por muy limitado que sea el precio de compra, quedarán anuladas casi todas sus ventajas. Tampoco hay que perder de vista que los motores hidráulicos están por lo general sujetos á un servicio irregular y con frecuencia interrumpido, unas veces por exceso y otras por falta de agua, ocasionándose pérdidas considerables de trabajo industrial, cuando al propio tiempo no se dispone de una máquina de vapor que les supla en los períodos de intermitencia.

Precio del agua como fuerza en algunas comarcas de España. Pocos datos poseemos con referencia al precio del agua empleada como motor en los establecimientos industriales: opinamos, no obstante, que por idénticas causas deben ofrecer diferencias análogas á las que hemos señalado al ocuparnos del precio de las aguas de riego. En las concesiones modernas de agua como fuerza motriz hechas por la Junta de gobierno del canal de la Infanta, en las inmediaciones de Barcelona, se han subastado los saltos al tipo medio de 10.000 rs. el caballo. El salto de Erasmo, de 16,5 ca-

ballos, ha sido recientemente vendido á perpetuidad por la cantidad de 240.000 rs., resultando un tipo de 14.544 reales por caballo.

En la misma cuenca del Llobregat, en la zona del canal de Manresa, el cánon que anualmente se paga por caballo hidráulico en los establecimientos industriales es de 12 á 15 reales, igual al que hemos indicado se satisface por el riego de una cuartera de terreno (0,298 hectáreas).

En el canal Imperial las concesiones de agua como fuerza motriz se hacen al tipo de 100 rs. al año por caballo.

En Ripoll, Campdevánol y otros centros industriales de la provincia de Gerona, el tipo medio de arrendamiento del caballo de fuerza hidráulica es de 100 pesetas anuales. En efecto, en dichos centros se acostumbra á pagar 250 pesetas por año y caballo, cuando la fuerza no pasa de 20; de 200 á 250 pesetas, cuando ésta varía entre 20 y 50 caballos, no bajando, sin embargo, del tipo de 200 pesetas aunque la fuerza utilizada sea mucho mayor; sólo que en el valor de este inquilinato va comprendido el correspondiente al local ocupado para la instalacion de las industrias, dándose la fuerza arrendada por medio de una correa de trasmision; y como se regula por mitad el coste de obtencion del agua, equiparando los gastos de construccion de la presa, canal de conduccion y conservacion del mismo con el del edificio y emplazamiento de la turbina motor, de ahí se deduce el valor de 100 pesetas en renta que se aplica al caballo hidráulico.

Formas del cánon de riego. La percepcion del cánon de riego suele afectar dos formas distintas: ó bien se percibe el importe del servicio prestado por la empresa concesionaria bajo la forma de una parte proporcional en especie de los productos del cultivo, ó bien, y es lo más frecuente, bajo la forma de una cierta cantidad en metálico por un volúmen determinado de agua, ó por unidad de superficie regada, tomando ó no en cuenta la naturaleza de los cultivos esta-

blecidos. Sin entrar en el estudio de la distribucion del agua, que formará el objeto de otro capítulo, desde luégo nos decidiremos, en tesis general, á favor del segundo procedimiento, por su carácter de mayor fijeza y sencillez, tanto para la empresa como para los regantes, porque evita los inconvenientes generales de la fiscalizacion, y porque deja ancho campo al ejercicio de la actividad agrícola, sin la cortapisa de la coparticipacion de la empresa concesionaria de las aguas en los rendimientos del mayor trabajo, capital é inteligencia que el agricultor dedica á la perfeccion del cultivo.

Duracion de los contratos de riegos. Cuando en los contratos de riegos se toma por base la naturaleza del cultivo para la fijacion del cánon, la admision de plazos cortos, los que no pasen de un año, por ejemplo, ofrece á la buena gestion de la empresa los inconvenientes principales siguientes:

1.° Dificulta y algunas veces imposibilita la comprobacion, dentro de dicho plazo, de las declaraciones de los regantes, expuestas en la peticion de riego.

2.° Facilita la inmoralidad de los agentes, cuya responsabilidad queda á cubierto una vez trascurrido el plazo del contrato, dentro del cual debia verificarse la revision de las declaraciones.

Y 3.° Ofrece obstáculos al establecimiento del tandeo por la falta de fijeza en la designacion de la superficie regable, mayormente si no se impone límite alguno á la facultad de solicitar el riego en cualquiera época del año.

La admision de plazos largos, ó por tiempo indefinido, presta en cambio mayores facilidades á la trasformacion del cultivo, haciendo á la vez más desembarazada la gestion administrativa de la empresa, para la cual son más sencillas las renovaciones que los nuevos contratos.

CAPÍTULO V.

MOVIMIENTO Y CONDUCCION DE LAS AGUAS.—AFORO DE LAS CORRIENTES NATURALES.

Antes de entrar en el estudio de la distribucion de las aguas de riego, bajo el doble punto de vista de la equidad en los servicios que mutuamente se prestan la empresa concesionaria y los regantes, y de la marcha ordenada de los riegos en beneficio de los usuarios y del mismo cultivo, creemos conveniente dejar sentados algunos preliminares relativos al movimiento y conduccion de las aguas y al aforo de las corrientes naturales.

Gasto de un líquido que sale por un orificio. Cuando un líquido se encuentra en un receptáculo ó depósito, en el cual se practica un orificio de posicion inferior á la superficie libre de dicho líquido, la velocidad con que éste sale, teóricamente considerada, es igual á la que adquiriria un cuerpo al caer libremente de una altura representada por la carga ó por la diferencia de nivel entre la superficie del líquido y el centro de gravedad del orificio. Representando por v la velocidad teórica en metros por segundo, por g la intensidad de la gravedad ($9^m,804$ en Madrid), y por h la carga, será: $v = \sqrt{2gh}$. Multiplicando esta velocidad por el área s de la seccion del orificio, obtendremos el *gasto teórico* Q en un segundo de tiempo; así: $Q = s\sqrt{2gh}$.

El gasto teórico obtenido por medio de esta fórmula difiere generalmente bastante del gasto efectivo, por efecto

de la contraccion que experimenta la vena líquida al salir del orificio.

Para obtener el gasto *práctico* ó *efectivo* hay que multiplicar el resultado anterior por un factor m, llamado *coeficiente de contraccion* ó *de conversion*, cuyo valor depende principalmente de la disposicion especial que presente el orificio. El gasto práctico será, por lo tanto, $Q = ms\sqrt{2gh}$.

Contraccion completa é incompleta. Si el orificio está abierto en pared delgada, esto es, en pared de ménos grueso que la mitad de la menor dimension del orificio, y la posicion de éste es intermedia á las paredes del depósito, distando de ellas por lo ménos 1 ½ ó 2 veces su diámetro, la contraccion se llama *completa*, é *incompleta* cuando uno de los lados del orificio es prolongacion del correspondiente del depósito, en cuyo caso la contraccion de la vena líquida disminuye aumentando el gasto. Este gasto, ó sea el volúmen del líquido que sale por el orificio en la unidad de tiempo, será tanto mayor cuanto mayor sea el número de lados de la seccion en que la contraccion se suprima. Si esto se verifica en los cuatro costados del orificio, el gasto será el mismo que se obtendria suponiendo un espesor mínimo ideal á la pared, y adaptado al orificio un tubo de una seccion correspondiente á la del orificio, y de una longitud igual al grueso de dicha pared.

Valores del coeficiente de contraccion.—Contraccion completa. Cuando el orificio está abierto en pared delgada, el valor de m varía entre $m=0{,}60$ y $m=0{,}70$, segun los experimentos de MM. Poncelet y Lesbros, pudiendo tomarse como término medio $m=0{,}63$.

Si la pared es más gruesa que la menor dimension del orificio, el coeficiente m de contraccion será el que corresponda, segun la forma de aquél, á uno de los tubos adicionales de que luégo nos ocuparemos.

Contraccion incompleta. De varios experimentos se ha deducido que cuando en uno de los lados del orificio no existe contraccion, el coeficiente m, que hemos dicho tiene

un valor medio $m = 0{,}63$, es en este caso, llamándole m', $m' = 1{,}035m$.

Si no existe contraccion		en dos lados	$m' = 1{,}072\,m$
—	—	en tres lados	$m' = 1{,}125\,m$
—	—	en los cuatro lados	$m' = 1{,}325\,m$

Tubos adicionales.—Tubos cilíndricos. Cuando la longitud del tubo está comprendida entre dos y tres veces el diámetro del orificio, ó bien, estando el orificio practicado en una pared cuyo grueso sea dos ó tres veces el mismo diámetro, el coeficiente difiere poco de $m = 0{,}82$. La fórmula del gasto será $Q = 0{,}82\,s\,\sqrt{2gh} = 3{,}63193\,s\,\sqrt{h}$; si el diámetro del orificio es considerable, el gasto vendrá dado por la fórmula $Q = 0{,}82 \times \frac{1}{2}\,s\,\sqrt{2g(H+h')} = 1{,}816\,s\,\sqrt{H+h'}$, siendo H la carga sobre la parte inferior, y h' la carga sobre el borde superior del orificio.

Tubos cónicos convergentes. Si el tubo adicional afecta la forma cónico-truncada y su base se apoya en el borde interior del orificio, el coeficiente m varía entre $m = 0{,}82$ y $m = 0{,}95$, segun el ángulo de convergencia. Este último valor corresponde á un ángulo de convergencia de 14 grados; el valor medio es $m = 0{,}915$. Para un ángulo de convergencia de 12° y una relacion entre los diámetros de las bases del tronco de cono igual á 1,20, el gasto se deduce de la fórmula $Q = 0{,}98\,s\,\sqrt{2gh} = 4{,}3406\,s\,\sqrt{h}$. Si por las dimensiones del orificio hay que tomar en cuenta la media de las dos cargas, sobre el borde superior é inferior respectivamente, la fórmula será $Q = 0{,}98\,s\,\frac{1}{2}\,\sqrt{2g(H+h')} = 2{,}1703\,s\,\sqrt{H+h'}$.

Tubos cónicos divergentes. Cuando el tubo de desagüe tiene una forma cónica y se halla adaptado al orificio inversamente que en el caso anterior, es decir, con la base mayor en el borde exterior del orificio, el coeficiente de contraccion varía entre $m = 0{,}62$ y $m = 1{,}46$. El primero corresponde al caso en que el ángulo de divergencia es mayor de 14°, y el segundo, que es el máximo segun Venturi, cor-

responde á un tubo nueve veces más largo que el diámetro menor, siendo el ángulo de divergencia de 5° 6'. Para una longitud de tubo igual á $0^m,46$ y un ángulo de divergencia de 4° 38', $Q = 1,20\, s\, \sqrt{2gh} = 5,315\, s\, \sqrt{h}$.

Tubos de conduccion. La velocidad de salida de los líquidos por tubos adicionales no experimenta un aumento más que en el caso en que éstos son muy cortos. Cuando, por el contrario, su longitud es muy grande con relacion al diámetro, la velocidad disminuye en virtud de los rozamientos que en el tubo de salida se producen. Cuanto más estrecho es el tubo y más bruscos y multiplicados son sus cambios de direccion, tanto más lenta es la salida del líquido. Por este motivo se procura evitar los ángulos en las cañerias, reemplazándolos por vueltas redondeadas y haciendo lisas las superficies interiores. La longitud del tubo ejerce tambien una gran influencia en la velocidad.

Resultados prácticos. El gasto por segundo para los tubos de conduccion rectilíneos, de diámetro uniforme y enteramente abiertos en el extremo de salida, viene dado por la fórmula

$$Q = 20,8 \sqrt{\frac{H \times d^5}{l + 54\, d}} \quad (1)$$

en la cual H representa la carga sobre el orificio de salida, d el diámetro y l la longitud del tubo. Esta fórmula fué deducida de los experimentos de Eytelwein. La velocidad se obtiene midiendo el volúmen de agua suministrado en 1", é igualándolo á una columna líquida que tenga por base la seccion interior y por longitud la velocidad buscada. Se tiene, por lo tanto,

$$Q = \frac{1}{4}\, \pi d^2 v \quad \text{ó} \quad v = \frac{4\, Q}{\pi d^2} = 26,44 \sqrt{\frac{Hd}{l + 54\, d}} \quad (2)$$

Cuando el tubo de conduccion es muy largo, puede despreciarse $54d$, resultando las fórmulas

$$d = 0,298 \sqrt[5]{\frac{lQ^2}{H}} \quad (3) \qquad v = 26,79 \sqrt{\frac{Hd}{l}}.$$

En la segunda el coeficiente numérico ha sido algo modificado por M. Prony, que la ha comprobado en cañerias de una longitud máxima de 2.280 metros.

La fórmula (3) da á conocer el diámetro d que hay que dar á un tubo de una longitud l para que, en un segundo de tiempo y con una carga H, dé un gasto conocido Q.

La velocidad varía cuando el diámetro de la cañeria no es constante: está siempre en razon inversa del cuadrado del diámetro ó del área de la seccion en el punto en que esta seccion se considera disminuida.

Cuando la extremidad del tubo está sumergida en el agua, es evidente que hay que contar la altura H á partir del nivel del depósito que recibe el líquido.

Finalmente, cuando la cañeria está terminada por bocas de riego, tubos adicionales ó llaves que disminuyen la seccion de salida, el gasto viene dado por la fórmula

$$Q = 20{,}73\sqrt{\frac{H d^5}{l + 35{,}47\,\frac{d^5}{m^2\delta^2}}}$$

si la velocidad excede á $0^m{,}50$ por $1''$, siendo δ el diámetro del tubo adicional y m el coeficiente de contraccion correspondiente.

Aforo de las corrientes naturales. El aforo de las aguas corrientes, ó la determinacion aproximada del volúmen que suministre en la unidad de tiempo un manantial, un arroyo ó un rio, en sus diversas fases de abundancia y escasez, es una operacion previa indispensable siempre que se trate de dar al agua las aplicaciones más útiles.

Para practicar el aforo de un manantial ó de un arroyuelo, y en general de una corriente de agua de poca importancia, uno de los medios más fáciles y expeditos que para ello pueden emplearse, consiste en interceptar dicha corriente con un dique de tablas que tenga una abertura ú orificio rectangular, cuya seccion puede aumentarse ó disminuirse á voluntad con el auxilio de una pequeña compuerta.

Levantando ó bajando dicha compuerta se fija por tanteo la seccion de salida del agua, para la cual permanezca constante el nivel del líquido en el remanso, en cuyo caso saldrá por el orificio rectangular la misma cantidad de agua que discurra por el canalizo, el arroyo ó la corriente cuyo aforo se pretende.

El gasto pedido se obtiene por medio de la fórmula

$$Q = 0{,}4133\ b\ .\ \sqrt{19{,}6176}\left(h_1^{\frac{3}{2}} - h^{\frac{3}{2}}\right)$$

en la cual Q representa el gasto ó caudal en metros cúbicos por segundo; b el ancho del orificio; h_1 la carga sobre la base inferior del orificio y h la carga sobre la arista superior del mismo.

La tabla siguiente simplifica considerablemente los cálculos y comprende la mayor parte de los casos que pueden ofrecerse en la práctica:

h	$0{,}4133\sqrt{2g}\left(h^{\frac{3}{2}}\right)$	h	$0{,}4133\sqrt{2g}\left(h^{\frac{3}{2}}\right)$	h	$0{,}4133\sqrt{2g}\left(h^{\frac{3}{2}}\right)$	h	$0{,}4133\sqrt{2g}\left(h^{\frac{3}{2}}\right)$
0,01	0,0018	0,26	0,2427	0,51	0,6667	0,76	1,2129
0,02	0,0052	0,27	0,2568	0,52	0,6864	0,77	1,2369
0,03	0,0095	0,28	0,2712	0,53	0,7063	0,78	1,2615
0,04	0,0146	0,29	0,2859	0,54	0,7264	0,79	1,2854
0,05	0,0205	0,30	0,3008	0,55	0,7467	0,80	1,3099
0,06	0,0269	0,31	0,3159	0,56	0,7672	0,81	1,3346
0,07	0,0339	0,32	0,3314	0,57	0,7878	0,82	1,3594
0,08	0,0414	0,33	0,3471	0,58	0,8086	0,83	1,3843
0,09	0,0494	0,34	0,3629	0,59	0,8297	0,84	1,4094
0,10	0,0581	0,35	0,3791	0,60	0,8508	0,85	1,4347
0,11	0,0668	0,36	0,3954	0,61	0,8722	0,86	1,4500
0,12	0,0751	0,37	0,4120	0,62	0,8937	0,87	1,4856
0,13	0,0858	0,38	0,4288	0,63	0,9154	0,88	1,5112
0,14	0,0959	0,39	0,4459	0,64	0,9373	0,89	1,5371
0,15	0,1063	0,40	0,4631	0,65	0,9594	0,90	1,5631
0,16	0,1172	0,41	0,4806	0,66	0,9820	0,91	1,5892
0,17	0,1283	0,42	0,4983	0,67	1,0040	0,92	1,6155
0,18	0,1398	0,43	0,5162	0,68	1,0265	0,93	1,6419
0,19	0,1516	0,44	0,5343	0,69	1,0491	0,94	1,6685
0,20	0,1637	0,45	0,5526	0,70	1,0722	0,95	1,6954
0,21	0,1762	0,46	0,5711	0,71	1,0952	0,96	1,7220
0,22	0,1889	0,47	0,5898	0,72	1,1185	0,97	1,7480
0,23	0,1919	0,48	0,6088	0,73	1,1418	0,98	1,7760
0,24	0,2153	0,49	0,6279	0,74	1,1654	0,99	1,8083
0,25	0,2288	0,50	0,6473	0,75	1,1891	1,00	1,8307

Pondremos de manifiesto la sencillez del uso de la tabla precedente por medio de un ejemplo.

Supongamos que haya que calcular el gasto de un orificio rectangular de $0^m,60$ de ancho, siendo la carga de agua sobre la base inferior de $0^m,40$, y sobre la arista superior de $0^m,10$.

Tomaremos en la tabla los números correspondientes á los valores $0^m,40$ y $0^m,10$ de h y los restaremos; la diferencia que se encuentre, multiplicada por el ancho del orificio, será el gasto pedido. Así tendremos:

$$(0,4631 - 0,0581) \times 0,60 = 0,4050 \times 0,60 = 0,243 \text{ metros cúbicos} = 243 \text{ litros por segundo.}$$

Aforo por medio de vertederos. Cuando el orificio es igualmente de paredes delgadas y forma vertedero, es decir, cuando tiene lugar el derrame por superficie libre y en depósito tranquilo, el gasto real se calcula por la fórmula $Q = 1,77\, bh^{\frac{3}{2}}$, deducida para el caso en que el ancho de la seccion es menor que $\frac{1}{3}$ del ancho total del dique ó de la compuerta.

Para facilitar el uso de la fórmula se ha calculado la tabla siguiente, en la hipótesis de $b = 1$, lo mismo que para el caso anterior.

h	$1{,}77\,h^{\frac{3}{2}}$	h	$1{,}77\,h^{\frac{3}{2}}$	h	$1{,}77\,h^{\frac{3}{2}}$	h	$1{,}77\,h^{\frac{3}{2}}$	h	$1{,}77\,h^{\frac{3}{2}}$
0,01	0,00177	0,21	0,17009	0,41	0,46467	0,61	0,84327	0,81	1,2904
0,02	0,00499	0,22	0,18231	0,42	0,48178	0,62	0,86409	0,82	1,3143
0,03	0,00918	0,23	0,19594	0,43	0,49909	0,63	0,88508	0,83	1,3384
0,04	0,01416	0,24	0,20797	0,44	0,51659	0,64	0,90624	0,84	1,3627
0,05	0,01965	0,25	0,22125	0,45	0,53431	0,65	0,92756	0,85	1,3871
0,06	0,02601	0,26	0,23452	0,46	0,55222	0,66	0,94905	0,86	1,4116
0,07	0,03274	0,27	0,24813	0,47	0,57032	0,67	0,97070	0,87	1,4363
0,08	0,04000	0,28	0,26225	0,48	0,58862	0,68	0,99252	0,88	1,4612
0,09	0,04779	0,29	0,27642	0,49	0,60711	0,69	1,01449	0,89	1,4861
0,10	0,05593	0,30	0,29084	0,50	0,62579	0,70	1,0366	0,90	1,5112
0,11	0,06443	0,31	0,30553	0,51	0,64465	0,71	1,0589	0,91	1,5365
0,12	0,07345	0,32	0,32041	0,52	0,66871	0,72	1,0792	0,92	1,5619
0,13	0,08284	0,33	0,33554	0,53	0,68295	0,73	1,1039	0,93	1,5875
0,14	0,09257	0,34	0,35091	0,54	0,70237	0,74	1,1268	0,94	1,6131
0,15	0,10283	0,35	0,36651	0,55	0,72197	0,75	1,1496	0,95	1,6389
0,16	0,11328	0,36	0,37361	0,56	0,74175	0,76	1,1727	0,96	1,6649
0,17	0,12390	0,37	0,39836	0,57	0,76170	0,77	1,1959	0,97	1,6910
0,18	0,13505	0,38	0,41414	0,58	0,78184	0,78	1,2193	0,98	1,7172
0,19	0 14656	0,39	0,43109	0,59	0,80214	0,79	1,2428	0,99	1,7436
0,20	0,15824	0,40	0,44778	0,60	0,82263	0,80	1,2666	1,00	1,7700

Para obtener por medio de esta tabla el gasto real de una pequeña corriente de agua, bastará multiplicar por el ancho del orificio el valor de 1,77 $h^{\frac{3}{2}}$ que corresponda á la altura h de la capa de agua que salga por dicho orificio. Así, para un vertedero de paredes delgadas de $0^m,60$ de ancho, por el cual pase una capa de agua de $0^m,30$ de altura, el gasto será $0,29084 \times 0,60 = 0,1745$ metros cúbicos $= 174$ litros 5 decílitros por 1".

Aforo de los arroyos y rios. Si se quiere hallar el caudal de una corriente de alguna importancia, habrá necesidad de recurrir á la determinacion de la velocidad y de la seccion mojada, para de su producto deducir el gasto por segundo.

Desde luégo se advierte que las irregularidades y asperezas del lecho y de las márgenes de un arroyo ó de un rio producen desigualdades en el movimiento de los diferentes filetes de la masa líquida, y que, en su consecuencia, la velocidad en la superficie no será la misma que en el medio, en las márgenes y en el fondo. La velocidad que conviene determinar aproximadamente será, por lo tanto, la media entre todas las que poseen los diversos filetes de la masa líquida.

El medio más expedito para la determinacion de la velocidad consiste en el empleo de flotadores de una densidad poco menor que la del agua, á fin de que queden sumergidos casi en su totalidad, y no pueda la accion del viento alterar su marcha.

Escogido un trozo del rio que quiera aforarse, de 100 á 200 metros de longitud, procurando en lo posible que esté en línea recta, que no ofrezca recodos, que tenga la pendiente uniforme, las márgenes limpias de maleza y desembarazadas de todo obstáculo que pueda impedir el libre movimiento de las aguas, se colocan en las extremidades dos cuerdas normales á la corriente y se mide la distancia que las separa.

La primera, que convendrá esté dividida en metros, se

deja un poco levantada para que el flotador pueda pasar libremente por debajo; la segunda podrá ponerse enrasando con la superficie del agua, cuando se quiera que el flotador quede detenido, á fin de que pueda utilizarse de nuevo, para lo cual se le fija un vástago ó gancho que le detenga al tropezar con la cuerda. Se echa el flotador algunos metros más arriba de la primera cuerda, con el objeto de que, cuando pase por debajo de ésta, arrastrado por la corriente, haya adquirido la velocidad de las aguas, y teniendo á la vista un reloj de segundos, se anota el tiempo que tarda en recorrer el trayecto limitado por las cuerdas. Dividiendo la longitud recorrida por el flotador por el número de segundos trascurridos durante el trayecto, se tendrá la velocidad ó el espacio recorrido en un segundo. Repitiendo varias veces la misma operacion, haciendo que el flotador vaya por el medio y á diferentes distancias de las márgenes, se tendrá una serie de observaciones que darán por lo general velocidades distintas; sumando estas velocidades y dividiendo la suma por el número de viajes del flotador que han servido para determinarlas, se obtendrá la *velocidad media en la superficie*.

Esta velocidad es una fraccion de la media total de la masa líquida, y las relaciones que existen entre las dos velocidades son las que se expresan en la tabla adjunta:

Velocidad por 1″ en la superficie.	Relacion entre la media total y la velocidad en la superficie.
0m,10	0,760
0m,50	0,786
1m,00	0,812
1m,50	0,832
2m,00	0,848
2m,50	0,862
3m,00	0,873
3m,50	0,883
4m,00	0,891

Puede determinarse tambien la velocidad media hallando directamente la correspondiente á distintas profundidades por medio del tubo de Pitot, modificado por Reichenbach, por el molinete de Woltmann, por el péndulo hidrométrico, la balanza hidrométrica, y no nos detendremos en exponer la teoría y uso de los diferentes rheómetros que citan los autores, porque fundados en nuestra propia experiencia, no vacilamos en calificarlos de lujo científico sin utilidad alguna de carácter práctico.

Damos tambien la preferencia al procedimiento que hemos detallado sobre el que determina directamente la velocidad media con el auxilio de un flotador de longitud próximamente igual á la profundidad media de la corriente, porque en el aforo general del Júcar y de sus afluentes dentro de la provincia de Valencia, que practicamos en Mayo y Junio de 1865, nos dió el procedimiento de flotadores ordinarios mucho mejores resultados.

Como el gasto de una corriente puede representarse por el volúmen de un prisma recto, cuya base sea la seccion media del cauce mojado, y cuya altura venga representada por la velocidad media del agua, nos falta determinar el segundo factor de dicho volúmen.

Si el cauce afecta una forma regular y única en toda la longitud del trozo escogido para el aforo del gasto, bastará hallar el área de su seccion normal, y multiplicarla por la velocidad media del agua.

Si se trata de un arroyo de poca anchura, de $1^{m},50$ por ejemplo, como máximo, puede disponerse una canal de madera de seccion rectangular, y de una longitud de unos 15 metros, que se apoye en el fondo y en las márgenes del arroyo, y por ella se hace pasar el agua de éste. Determinada la velocidad media del agua, el ancho de la canal y la altura del agua sobre su fondo, nos darán los elementos de la seccion mojada; el producto de estos dos factores multiplicado por la velocidad media nos dará el gasto buscado.

Si se trata de una corriente de más importancia, que no

pueda aforarse por medio de canalizos, habrá que determinar varios perfiles trasversales en el trayecto escogido para el aforo, y en los sitios en que el cauce ofrezca alguna variacion, por medio de sondas bajadas á las distancias convenientes, á fin de que nos den aproximadamente el relieve del cauce dentro de la seccion mojada. Calculada la superficie de estos perfiles por las reglas más elementales de la geometría, y tomando el área media de todas las secciones, el producto de ésta por la velocidad media dará el volúmen buscado.

CAPÍTULO VI.

DISTRIBUCION DEL AGUA. — SISTEMA DISTRIBUTIVO FUNDADO EN LA PROPORCIONALIDAD.

La distribucion de las aguas para el riego debe basarse sobre dos principios fundamentales: la equidad en el reparto y la obtencion del mayor grado posible de utilidad de aquel elemento natural dedicado al aumento de las condiciones productivas del suelo.

No puede fijarse en absoluto cuál sea el mejor sistema de distribucion de las aguas, porque á nuestro juicio ejercen una influencia decisiva en el criterio que se adopte, en primer término la manera de hallarse constituida la propiedad de las aguas, y en segundo lugar las alternativas de abundancia y escasez á que el caudal de aguas disponible se halle sujeto.

Sistema de distribucion proporcional. Cuando el agua y la tierra constituyen una propiedad única é indivisible, es decir, cuando el agua va aneja á la tierra, sin que puedan enajenarse separadamente, como sucede en muchas comarcas de España, el sistema distributivo, en lugar de partir de volúmenes fijos para la unidad de superficie regable, reconoce por base la proporcionalidad del variable volúmen total de que se dispone. Con este sistema la comunidad de regantes propietaria de las aguas goza de la abundancia ó sufre por la escasez, alternativas tan frecuentes en nuestros climas, en proporcion á los intereses comprometidos en la misma asociacion de riegos. Para este objeto, las líneas principales de derivacion suelen tomar una parte alícuota

del caudal de los rios, la cual se distribuye entre las distintas zonas por medio de acequias secundarias y brazales; de modo que cada una de éstas lleve una fraccion del volúmen total variable, proporcionada á la extension de la zona ó comarca respectiva. A este principio obedece, por lo general, la distribucion de las aguas para los riegos establecidos en Granada con las aguas del Genil y de sus afluentes; en Murcia con las del Segura; en Elche y Alicante con las del Monegre y Vinalopó; en Valencia con las del Júcar, Guadalaviar y Palancia; y en la plana de Castellon con las que suministra el rio Mijares.

El carácter distintivo de la distribucion del agua entre las diversas zonas, y dentro de cada una entre los respectivos usuarios, partiendo del criterio de la proporcionalidad, consiste en la necesidad de una intervencion continua de los agentes administrativos, los cuales, sobre todo en caso de penuria, deciden por simple apreciacion personal acerca de las necesidades de los diversos cultivos establecidos en la misma zona, y de la preferencia que haya que dar á ciertos cultivos para el disfrute del agua en perjuicio de otros ménos privilegiados.

En la práctica de la distribucion de las aguas de riego suelen distinguirse tres períodos: el de abundancia, el de estiaje ordinario y el de las sequías excepcionales.

En el primer caso todas las acequias y brazales suelen llevar el máximo caudal de que son susceptibles, y en la práctica de los riegos no suele exigirse más que la observancia de las reglas generales de policía, prescritas en las respectivas Ordenanzas ó Reglamentos.

En el segundo caso se hace precisa la adopcion de un tandeo basado en la parte alícuota del volúmen total que á cada una de las acequias corresponde, debiendo los agentes del sindicato distribuir el agua entre los regantes, ó por períodos fijos de tiempo, segun la extension total de la zona regable, ó por cultivos, apreciando el estado de penuria de las respectivas cosechas. Es evidente que siendo limitado el

volúmen de las aguas disponibles durante la época de estiaje, y que admitida la libertad de cultivo dentro de la zona regable, podrá ocurrir que las necesidades superen á los medios de satisfacerlas, estableciéndose en consecuencia una rivalidad funesta entre los intereses de los regantes; pero por una parte las exigencias del consumo que regularizan la naturaleza y cantidad de la produccion, y por otra la determinacion concreta de la zona de riego correspondiente á cada brazal ó hijuela, la fijacion por medio de orificios invariables de la cantidad de agua que constituye la dotacion de la hijuela, la continuidad é intermitencia del disfrute del agua, segun los casos, y por fin la prohibicion de que retrograde el agua hasta el riego completo de la zona, mantienen, con la intervencion de los empleados, el uso del agua dentro de los límites de lo posible.

En las huertas que se riegan con aguas del Turia, la duracion del riego en las distintas parcelas no reconoce más límites que las necesidades del cultivo, fijándose por el *atandador* el momento en que hay que quitar el agua á un terreno para dársela al inmediato.

Esta facultad discrecional es de la competencia del *acequiero real* y de sus delegados en los riegos de la acequia real del Júcar.

En el período de estiaje ordinario ocurre con frecuencia el caso de no contar una parcela con el agua necesaria para la salvacion de la cosecha; y en las dos comarcas citadas se remedia el conflicto concediendo el síndico ó el *acequiero real* el *agua de gracia* como suplemento, el cual se quita á otra hijuela que no se encuentre en iguales condiciones.

En las épocas de sequía extraordinaria se modifican las reglas relativas á la dotacion de las acequias, de acuerdo con los preceptos estipulados en las condiciones de la concesion, cuando varias zonas se surten de las aguas de un mismo rio. Si los terrenos regables corresponden á una misma zona, se establece el tandeo por hijuelas, cuando el caudal disponible no puede abastecerlas simultáneamente, en

cuyo caso se distribuye el agua entre las distintas parcelas, ó bien tomando por base la duracion del riego segun la superficie, ó atendiendo á las necesidades de los diversos cultivos. En las acequias derivadas del Turia, llegado el caso de una sequía extraordinaria, cesa toda regularidad en la tandas de riego, y queda todo sujeto á la apreciacion del síndico y de sus delegados los *veedores*. La mision de estos funcionarios se reduce en dicho caso á salvar las cosechas que se hallen en mayor peligro; y para ello pueden dar la preferencia á ciertas categorías de cultivo establecidas por el uso, abren y cierran las compuertas, segun lo creen conveniente, prohibiéndose á los usuarios hacer otro tanto, y castigándose la falta con una fuerte multa. En caso necesario puede el síndico sacrificar parte de un cultivo preferente para salvar los demás comprometidos por una sequía excesiva.

Los inconvenientes de la arbitrariedad administrativa en la facultad discrecional de dispensar el beneficio preferente de las aguas, en el caso de extremada penuria, se mitigan admitiendo en las ordenanzas de riegos el principio de la responsabilidad pecuniaria aplicado á todas las jerarquías administrativas, y estableciendo el jurado ó tribunal de aguas, que resuelve sumariamente y sin apelacion todas las cuestiones que se susciten en la práctica de los riegos.

El principio de la proporcionalidad se halla igualmente en uso en España en los riegos de orígen antiguo en que el agua y la tierra constituyen propiedades distintas y más ó ménos independientes.

El carácter variable del volúmen total de que puede disponerse, las más de las veces insuficiente para las necesidades del cultivo, y la fijeza de la superficie que abarca la zona dominada por las acequias, imposibilitan el partir de un caudal fijo para la distribucion, resultando en consecuencia unidades de medida subordinadas á estos dos hechos fundamentales, y á las modificaciones que en cada caso han introducido en la distribucion los derechos adquiridos y los

usos y costumbres locales. Los riegos de Lorca, Elche y Alicante, que exponemos en detalle en el TOMO II, ofrecen ejemplos dignos de estudio por más de un concepto.

Empresas concesionarias de riegos. Cuando la entidad que suministra las aguas es distinta de la que las aprovecha para el riego, y no existen derechos tradicionales ni usos que prejuzguen el sistema distributivo, debe éste obedecer á un criterio distinto.

La toma ilimitada ocasiona un desperdicio del agua, en perjuicio con frecuencia del mismo terreno regado; establece una desproporcion entre el servicio prestado por la empresa y la remuneracion que ésta percibe, si no se toman en cuenta las necesidades de los diversos cultivos; y exige una fiscalizacion difícil y ocasionada á cuestiones, si la remuneracion anual que la empresa percibe reconoce por base la naturaleza é intensidad del trabajo agrícola, á cuyo desarrollo contribuye aquella con la concesion del riego.

El procedimiento de distribucion más perfecto, será, por lo tanto, el que ofrezca á la venta volúmenes de agua fijos, en términos que cada usuario pague la que consuma y la emplee como lo tenga por conveniente.

Antes de entrar en el estudio de los procedimientos aplicables á la distribucion del agua por volúmenes fijos, daremos una idea de los que se emplean para la distribucion proporcional, es decir, de aquellos que tienden á suministrar un caudal que guarde con un volúmen variable una relacion constante.

Partidores. Los partidores son construcciones que tienen por objeto dividir las aguas de una corriente en partes alícuotas de la totalidad del volúmen que aquella suministre en cualquier momento, conservándose constante la relacion entre los volúmenes parciales y la de cada uno de estos con el volúmen total.

La division de las aguas de un canal en dos porciones iguales constituye un problema de resolucion sencilla. Bastará para ello disponer el canal principal de modo que se

presente rectificado, y con seccion y pendiente uniformes, en un trayecto de 100 á 150 metros, en cuyo caso la máxima velocidad corresponderá á la directriz ó á la línea media de la corriente, decreciendo uniformemente la que anima á los demás filetes líquidos desde el centro á una y otra márgen. Si se coloca en el sentido de la línea media un tabique longitudinal ó tajamar, éste dividirá el volúmen total en dos porciones iguales, que podrán conducirse por medio de dos nuevos canales, que tengan la misma inclinacion con respecto á la directriz del primero, la misma seccion é idéntica pendiente.

Cada una de estas derivaciones puede dividirse por el mismo procedimiento en dos porciones iguales, con lo cual queda resuelto de una manera exacta el problema de dividir una corriente en dos, cuatro, ocho, diez y seis, etc., y en general en 2^n partes iguales.

Pero cuando se quiera dividir el gasto de un canal en un número de partes que no sea una potencia exacta de 2, el problema es irresoluble exactamente, puesto que no se conoce la ley, segun la cual varía la velocidad de los filetes líquidos desde el medio de la corriente, tal como la hemos dispuesto, á las márgenes. Supongamos que se quiera dividir el volúmen de agua que suministra un canal en tres partes iguales; si se construyen tres canales secundarios iguales, el del centro llevará más agua que los de los lados, por lo mismo que el líquido entrará en aquél más directamente y con mayor velocidad que en los laterales. Para compensar estas diferencias se procede por tanteos, ya aumentando la seccion de los canales extremos á expensas de la del centro, ya aumentando la pendiente, ó bien estableciendo obstáculos que modifiquen la velocidad del agua en el canal del medio. De una manera análoga se procede cuando hay necesidad de dividir una corriente en varias porciones que guarden entre sí una relacion determinada cualquiera.

Si se dispusiera de un salto y se pudiera al propio tiempo establecer aguas arriba del partidor un depósito de capa-

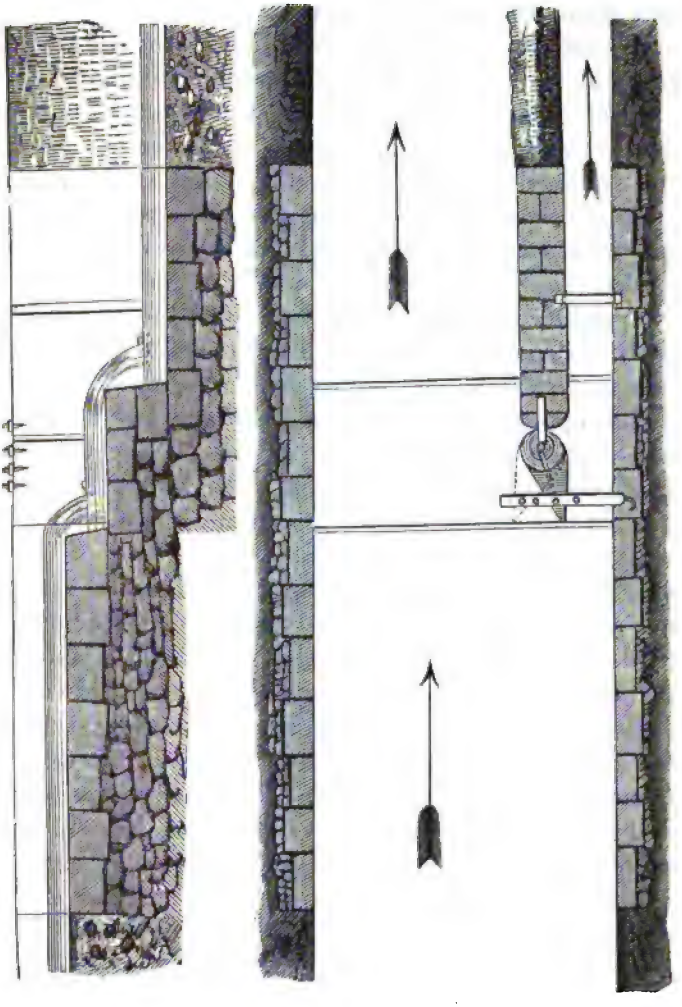
cidad suficiente para que el agua perdiera en él casi toda su velocidad, el problema se simplificaria extraordinariamente y quedaria reducido á establecer un vertedero de superficie, dividido por medio de tabiques longitudinales, separados unos de otros por distancias que guardasen entre sí la misma relacion que la de las partes en que quisiera dividirse el volúmen total. El gasto de cada uno de los vertederos parciales sería proporcional al ancho del orificio rectangular correspondiente de salida. Este procedimiento es poco usado en la práctica, por la dificultad de contar con las condiciones propias para su establecimiento.

Los partidores son de uso muy frecuente en los grandes canales del Piamonte y de la Lombardía para la distribucion de las aguas entre los diferentes canales secundarios; pero no es fácil aplicarlos á las derivaciones que hay necesidad de establecer en el curso de cada una de las acequias para el surtido de los brazales é hijuelas, en virtud de la distinta inclinacion que éstas tienen, con respecto á la directriz del cauce principal de conduccion.

En España es tambien muy comun el empleo de los partidores, y se establecen, no sólo para la distribucion del caudal de las grandes acequias entre las varias secundarias que de ellas se derivan, sino tambien para el surtido de los brazales que forman el órden de ramificacion inferior inmediato. En Barcelona hemos visto usado un partidor sencillo en el arranque de la acequia condal, destinado á separar el tercio de la dotacion de las minas de Moncada para el abastecimiento de la capital. No ofrece dicho partidor circunstancia alguna notable. Tampoco presenta carácter alguno digno de especial detalle el partidor que divide en partes proporcionales la dotacion de la acequia destinada al riego de las jurisdicciones de Castellon de la Plana y Almazora.

Partidor de Elche. Desde la época de la dominacion árabe se viene usando para la distribucion de las aguas en la huerta de Elche un sistema de partidores de pico móvil, cuyos detalles vienen representados en las figuras

1 y 2 adjuntas por medio de la seccion longitudinal y la planta, y su objeto es derivar de la acequia principal las



Figs. 1 y 2.—Seccion longitudinal y planta del partidor de Elche.

aguas que se destinan al surtido de cada uno de los veintiun brazales que completan el sistema de canalizacion de aquella célebre huerta.

La acequia principal se halla revestida de sillería en la

solera y en las márgenes en una longitud de cinco metros, siendo la seccion rectangular y su ancho de dos metros. En la solera se hallan dispuestos dos saltos sucesivos de $0^m,30$ y $0^m,40$, á las distancias respectivas del orígen del revestimiento de $2^m,5$ y 4 metros. La pendiente longitudinal de dicha solera es nula á lo largo del revestimiento, y casi insignificante en una longitud de 50 metros aguas arriba del mismo; de modo que las aguas llegan al primer vertedero con una velocidad apenas perceptible, caen sin agitarse y sin ser nunca rebalsadas en su parte inferior, por oponerse á ello el segundo vertedero situado $1^m,50$ más abajo. No habiendo por lo tanto contraccion, el gasto es proporcional al ancho del vertedero.

Aguas abajo del primer vertedero, y paralelamente á los muros laterales de la acequia, se halla dispuesto un tabique de silleria de $0^m,30$ de espesor, el cual divide el ancho, que es de dos metros en la figura, en dos partes desiguales, una de $1^m,40$ para la acequia principal y otra de $0^m,30$ para la hijuela.

Los sillares que terminan el tabique divisorio están cortados formando un cilindro vertical, que sirve de eje á un pico móvil de madera dura de $0^m,50$ de longitud horizontal, y de $0^m,65$ de alto. Este pico abraza la superficie cilíndrica en un desarrollo mayor que la semicircunferencia de la seccion recta, por cuya razon no puede escaparse lateralmente, y únicamente puede adquirir un movimiento circular de rotacion alrededor del eje. Siendo la madera muy densa, su propio peso impide que el pico hidrométrico sea levantado por las aguas, y á ello se opone tambien la disposicion de los pasadores, respectivamente colocados en la base superior del cilindro y en la extremidad opuesta del pico móvil. La longitud de dicho pico es tal, que cuando su eje se encuentra en la prolongacion del correspondiente al tabique divisorio, su extremo llega casi á tocar el primer vertedero. A derecha é izquierda de esta posicion central puede tomar todas las posiciones convenientes, girando al-

rededor del cilindro que le sirve de eje; de modo que el ancho total del primer vertedero puede dividirse en dos porciones, cuyas longitudes guarden una relacion cualquiera. Esta relacion depende del volúmen que deba darse á la hijuela, y del que deba quedar en la acequia principal para ser distribuido entre las hijuelas inferiores, segun el estado diario de las ventas del agua entre los regantes de las distintas zonas. Para mantener la invariabilidad del gasto durante el dia, lleva el pico móvil, á la distancia de 10 centímetros de su extremo, una clavija que se inserta en uno de los agujeros abiertos en una regla plana de hierro, de unos $0^{m},80$ de longitud, sujeta al muro lateral por medio de una anilla. Para la mayor seguridad del servicio, la sujecion del pico á la regla se completa con auxilio de un candado.

Este ingenioso sistema ofrece en la práctica una exactitud suficiente, miéntras la extremidad del pico no se separa demasiado de la arista del vertedero; pero en la disposicion y dimensiones adoptadas, tanto para el vertedero como para el pico en los distintos partidores establecidos en la huerta, se ha procurado que para los límites extremos de la dotacion correspondiente á las acequias, segun la extension de las zonas respectivas, la punta del pico se separe poco de dicho borde.

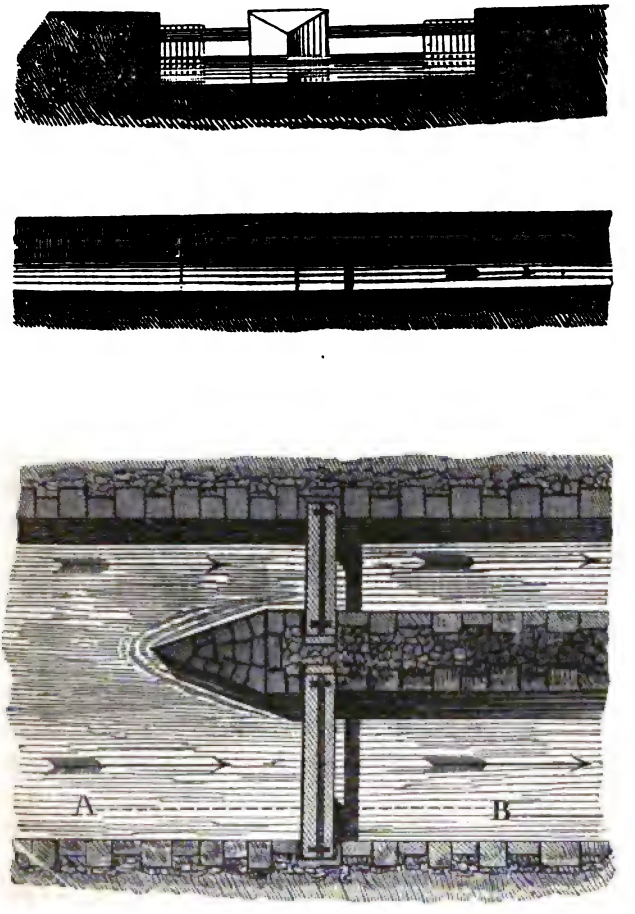
Partidor de Lorca. En Lorca se emplea otro procedimiento de distribucion de las aguas que diariamente se venden para el surtido de las zonas de Tercia y Albacete, procedimiento que, aunque más grosero y expuesto á errores que el usado en Elche, merece, sin embargo, le dediquemos algunas líneas.

En las figuras 3, 4 y 5 adjuntas representamos el alzado, el corte longitudinal por la línea AB y la planta del partidor usado en Lorca.

Una solera de mamposteria, perfectamente nivelada, limitada por dos muros laterales y dividida por un tabique divisorio provisto de tajamar, presenta á la corriente dos

UNIVERSITY

nuevos cauces: en uno de ellos se introducen las aguas de la acequia secundaria, y en el otro las de la acequia principal, para ser más abajo distribuidas de una manera análoga.



Figs. 3, 4 y 5.—Alzado, corte longitudinal segun *AB*, y planta del partidor de Lorca.

Los dos cauces están cerrados por medio de reglones verticales de madera que encajan por su parte inferior en una ranura practicada en la solera, y por el otro extremo se hallan colocados entre dos tablas horizontales sujetas á los

muros laterales y al tabique divisorio, las cuales sólo dejan el hueco suficiente para la colocacion de dichos tablones. Estos se hallan sujetos al muro por medio de una cadenilla de hierro, con objeto de impedir sú desaparicion casual ó ¡ntencionada. Sus dimensiones son por lo comun 0^m,90 de alto por 0^m,04 de grueso, 0^m,07 de anchura uniforme para los de un mismo partidor.

Los reglones están labrados de manera que, puestos al tope, den un ajuste perfecto con las menores filtraciones posibles.

En cada uno de los canalizos de un mismo partidor hay tantos reglones como *hilas* pueden hacerse pasar por él, y el guarda hace la distribucion del agua, añadiendo ó quitando el número de reglones necesario para que el ancho de los dos orificios esté en relacion con el número de hilas que deben constituir su dotacion respectiva.

La breve reseña que precede pone de manifiesto la imperfeccion de este procedimiento de distribucion, puesto que no se toman en cuenta las diferencias de velocidad de los filetes líquidos á distancias diferentes de las márgenes, ni la direccion del diafragma de tablas, no siempre colocado en sentido normal á la corriente, ni los remolinos que el agua produce por efecto de su choque con las tablas, circunstancias todas que deben modificar notablemente la velocidad media que, segun en el capítulo anterior hemos manifestado, es uno de los factores del gasto.

CAPÍTULO VII.

DISTRIBUCION DE LAS AGUAS POR VOLÚMENES FIJOS.

El procedimiento de distribucion de las aguas de riego, fundado en el uso de los partidores, no suministra, como hemos visto en el capítulo precedente, un volúmen fijo, sino una fraccion de un caudal sujeto á alternativas por accidentes meteorológicos ó por otra causa cualquiera.

Los partidores, de uso tan frecuente en las comarcas de riego de España, suelen aplicarse casi exclusivamente á la distribucion de las aguas de la acequia ó canal principal entre los brazales que surten las diversas zonas. Dentro de cada zona se completa el sistema distributivo, concediéndose á cada uno de los regantes la cantidad de agua que, de una manera continua, ó durante un cierto número de horas, discurre por un orificio ó *boquera* abierta en el costado del cauce secundario.

Suponiendo que se tomen todas las precauciones necesarias para asegurar la invariabilidad de las boqueras, es evidente que, á igualdad de seccion del orificio de salida del líquido, variará el gasto con la altura que el agua tome en el brazal, con la mayor ó menor velocidad de la corriente, con la diferente oblicuidad de los filetes líquidos relativamente al eje del orificio, con el espesor del muro en que éste se halla abierto, etc., etc.

Los inconvenientes de este sistema distributivo, que se corrigen en parte en nuestras comarcas clásicas en el ejercicio del riego, mediante la intervencion de un personal administrativo eminentemente práctico, imposibilitan su

adopcion por una empresa concesionaria de riegos, legítimamente interesada en percibir una indemnizacion equivalente á los volúmenes de agua que distribuye.

Para la distribucion del agua por volúmenes fijos, es decir, de manera que cada regante perciba la cantidad de agua á que tenga derecho, es indispensable recurrir al empleo de los *módulos*.

Módulos. Se llama módulo en los canales de riego al aparato que tiene por objeto regularizar la salida del agua por el orificio practicado al efecto, de manera que el gasto permanezca constante, cualesquiera que sean las variaciones que experimente el nivel del líquido dentro del canal.

Condiciones generales de un buen módulo. Segun M. Nadault de Buffon, las condiciones generales de un buen módulo son las siguientes:

1.ª Que en tiempos iguales suministre volúmenes iguales de agua, cualquiera que sea la altura del líquido en el canal y la velocidad de la corriente.

2.ª Que sea sencillo, de fácil manejo y se halle poco expuesto á deterioros.

3.ª Que sea automóvil y se gradúe por sí mismo.

4.ª Que dé la menor pérdida posible de nivel, á fin de que, despues que el agua haya recorrido todo el aparato, conserve su nivel á bastante altura para que se pueda regar la mayor extension posible de terreno.

5.ª Que los usuarios no puedan alterar el desagüe sin dejar señales que lo pongan de manifiesto.

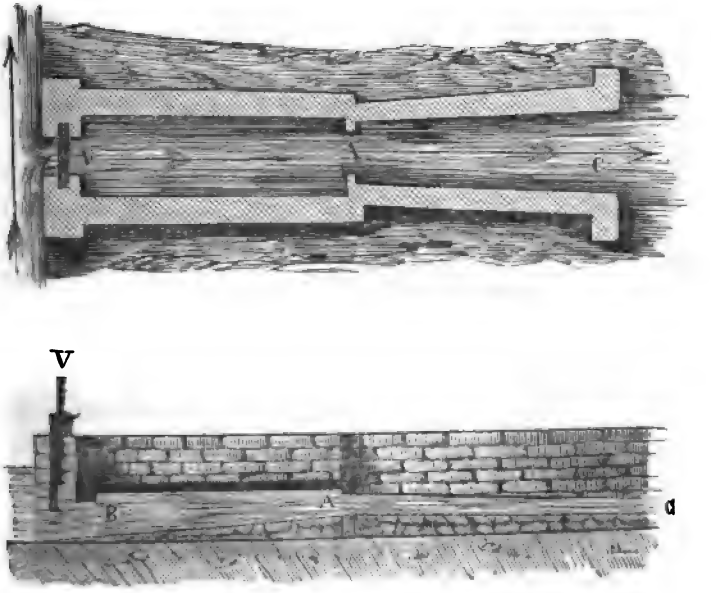
6.ª Que para su instalacion baste un pequeño espacio en cualquier punto del canal.

Y 7.ª Que dé constantemente, y con la mayor exactitud posible, la cantidad de agua que le corresponda.

Es evidente que el módulo será tanto más perfecto, cuanto mayor sea el número de las precedentes condiciones á que satisfaga, y cuanto mayor sea la importancia relativa de las condiciones satisfechas.

Módulo milanés. En 1572 se construyó por Soldati,

con destino á los canales de Lombardía, un aparato ingenioso que evita una gran parte de los inconvenientes del sistema distributivo por boqueras y partidores, comun entónces á todas las comarcas importantes de riego de Europa. El aparato se llamó *módulo magistral de Milan*, ó *módulo milanés*. Las figuras 6 y 7 representan respectivamente una seccion horizontal y un corte longitudinal de este módulo.



Figs. 6 y 7.—Seccion horizontal y corte longitudinal del módulo milanés.

Consiste en el empleo de una boca de desagüe A, cuya altura es invariable, y cuyo ancho está en relacion con el caudal que debe suministrar. Esta boca recibe el agua de un canalizo cubierto BA; el nivel del líquido se halla constantemente á la misma altura por cima del orificio A, lo cual se consigue subiendo ó bajando la compuerta V, cuya maniobra tiene lugar entre dos muros de mampostería situados en la toma de aguas del canal principal de conduccion. El agua que vierte por el orificio A, recorre un canalizo descubierto AC, desde el cual pasa á la cacera de riego.

Antes de entrar en el detalle de las dimensiones que corresponden á las distintas partes del aparato para la obtencion de un gasto determinado, es preciso fijar la equivalencia entre las unidades milanesas y las métricas, tanto para las longitudes como para los volúmenes de agua.

La unidad de medida usada para los riegos de Lombardía es la *onza* de agua, equivalente al volúmen de este líquido que fluiria al aire libre, y por segundo de tiempo, por un orificio rectangular de pared delgada de cuatro onzas ó pulgadas milanesas ($0^m,20$) de altura y tres onzas ($0^m,15$) de ancho, bajo una carga constante de dos onzas ($0^m,10$). Este gasto es de 36,40 litros por segundo, deducido por medio de la primera tabla inserta en el CAPÍTULO V.

Para obtener un gasto de dos onzas hay que dar al orificio hidrométrico *A* un ancho de $0^m,30$, conservando la carga constante de $0^m,10$, por encima del borde superior de dicho orificio; para un gasto de tres onzas el ancho es de $0^m,45$, y así sucesivamente, permaneciendo constante la otra dimension y la altura del agua.

La solera de la toma de aguas se halla establecida al mismo nivel que la del canal principal, y la protegen contra las erosiones un zampeado de fábrica ó un enlosado de sillería; su ancho es igual al de la boca *A*.

El canalizo cubierto *BA* tiene 6 metros de longitud; su ancho es el del orificio *A* más $0^m,25$ por cada lado del umbral de entrada; la solera está dispuesta en contrapendiente desde el borde de la entrada hasta la parte inferior del orificio de salida; de modo que el desnivel entre ambos puntos es de $0^m,40$ ó de $0^m,066$ la pendiente por metro.

A la distancia de $0^m,10$ del borde superior de la boca *A* se halla dispuesto un tabique horizontal, especie de cielo raso que cubre toda la longitud del primer canalizo, con el objeto de amortiguar los choques del agua y contribuir, en union con la rampa ascendente, á calmar la agitacion del líquido que entra por la parte inferior de la compuerta *V*. La entrada del canalizo cubierto está constituida en su parte

anterior por una losa cuyo borde inferior se corresponde de nivel con el remate de la boca hidrométrica *A*, hallándose por lo tanto $0^m,60$ más alto que el punto de arranque de la solera.

En el muro en que se hace maniobrar la compuerta se dispone un pequeño hueco en comunicacion con el canalizo, con el objeto de poder comprobar, por medio de una varilla, si el nivel interior del agua enrasa sin presion con el cielo raso ó tabique horizontal representado en la figura 7 por medio de una estrecha faja más oscura.

Para que el aparato pueda funcionar, es preciso que el nivel del agua en el canal principal esté por lo ménos $0^m,20$ más alto que el nivel superior del canalizo cubierto; de modo que el límite inferior del nivel de las aguas en la línea de conduccion es de $0^m,90$.

El caz descubierto *CA* empieza inmediatamente despues de la boca hidrométrica; su ancho en el orígen es el de dicha boca más un retallo por cada lado de $0^m,10$, y en el extremo el ancho total aumenta en $0^m,30$; de modo que la desviacion de los dos muros verticales que forman los quijeros es de $0^m,15$ para cada uno en la longitud de $5^m,40$ que corresponde al eje de este segundo canalizo. El ancho del mismo en *C* es por lo tanto $0^m,50$ mayor que en el caz cubierto. La solera del segundo canalizo empieza en *A* con un pequeño salto de $0^m,05$, y un desnivel igual determina la pendiente para toda su longitud. A partir de *C*, la cacera de derivacion no se halla sujeta á regla alguna.

El módulo milanés funciona con una perfeccion relativa y ofrece un gasto sensiblemente proporcional al ancho de la boca hidrométrica, miéntras no tenga que exceder dicho gasto de 2 ó 3 onzas. Llegando á 6 onzas, límite que no suele traspasar la administracion de los canales de Piamonte y Lombardía en las concesiones de aguas para riego, el gasto que proporciona el módulo es muy superior al que darian seis módulos de una sola onza. Los volúmenes suelen variar entre 36 y 48 litros para la onza milanesa; es decir, que el er-

ror llega á un 33 por 100, y es debido á la diferente contraccion de la masa líquida para secciones de desigual latitud é igualmente distantes de los paramentos laterales del canalizo.

Las peticiones de volúmenes superiores á 6 onzas se suelen satisfacer por medio de varios módulos pequeños que compongan el volúmen pedido.

Defectos del módulo milanés. El módulo milanés evita algunos inconvenientes del sistema de distribucion por boqueras, cuyas causas de desigualdad en el gasto ya hemos indicado, y aunque su invencion en la época citada revela un gran adelanto en las aplicaciones de la Hidráulica, no está exento de graves defectos, especialmente para los casos en que, no siendo las aguas abundantes, acrece la importancia de la exactitud en su medida.

El primero y principal defecto de dicho módulo consiste en las variaciones que experimenta el volúmen correspondiente á la unidad de medida, suministrado por distintos aparatos calculados para los diversos múltiplos de dicha unidad. Un módulo de una onza da 36 litros por segundo, y un módulo de 6 onzas da seis veces 48 litros en el mismo tiempo.

Suponiendo que, despues de reducir los bordes de la boca hidrométrica á una simple arista, se corrigiesen por tanteo ó por otro procedimiento las desigualdades del gasto que se observa en los aparatos destinados á suministrar múltiplos de la unidad de volúmen admitida, siempre queda en pié el defecto inherente al aparato, relativo á la necesidad de subir ó bajar la compuerta de entrada, segun baje ó suba el nivel de las aguas en el canal, maniobra que exigirá con frecuencia el consumo desigual y alternativo del riego en los diversos puntos de la línea principal de conduccion.

Otro defecto del módulo milanés consiste en exigir una construccion de piedra y ladrillo de unos 12 metros de longitud, que representa un coste considerable, y se hace ascender en totalidad á unos 16.000 rs. para un módulo de 6 onzas.

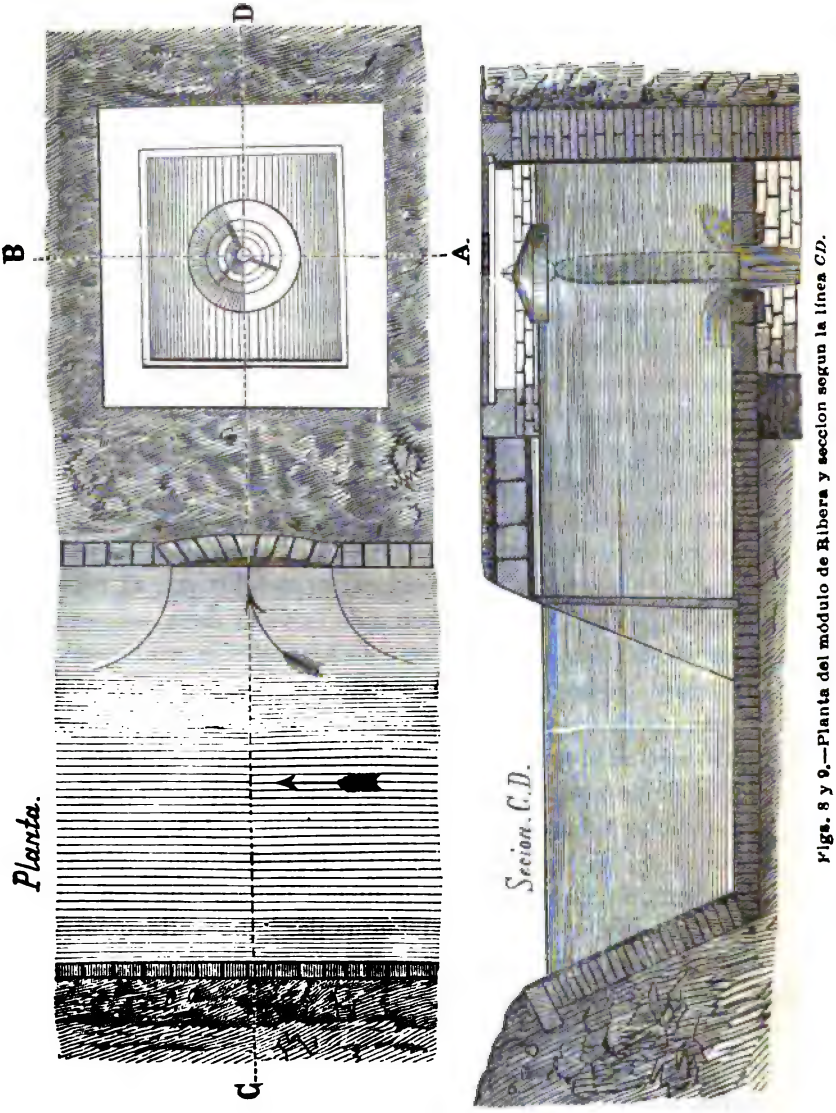
Y finalmente, puede en algunos casos imposibilitar el uso del módulo milanés la falta de carga en el canal principal de conduccion, puesto que hemos dicho habia de ser por lo ménos de $0^m,90$ por cima de la solera de entrada del canalizo cubierto.

Se han ideado diversos medios para corregir los inconvenientes de este módulo sin que el problema haya llegado á resolverse con la precision necesaria, y, en último resultado, ya hemos dicho que algunos defectos no pueden corregirse sin alterar el sistema, puesto que constituyen un carácter esencial é inherente al mismo.

El módulo milanés ha sido adoptado en España en los riegos del canal de Urgel, si bien con algunas modificaciones introducidas por el Ingeniero Sr. Cardenal. La modificacion más importante, y á nuestro juicio la más acertada, consiste en sustituir la boca hidrométrica única ó total para el módulo que tenga que suministrar un múltiplo de la onza, por varias bocas de las dimensiones correspondientes á la unidad, separadas entre sí por una pequeña lámina metálica de ancho uniforme para todas. Siendo los orificios de pared delgada y de iguales dimensiones, separados por el mismo ancho de tabique, la contraccion de la vena debe ser próximamente uniforme en cada uno de los orificios, y el gasto de cada unidad sensiblemente constante. No nos parece tan afortunada la supresion del cielo raso en el canalizo cubierto y su sustitucion por una escala hidrométrica para la determinacion de la carga constante, porque indudablemente faltando dicho tabique horizontal deben las aguas estar más agitadas en el cuenco cubierto que cuando el cielo raso amortigua su movimiento por efecto del choque, en cuyo caso la velocidad de salida del agua por la boca hidrométrica se halla más íntimamente relacionada con la carga.

Modernamente se han ideado diferentes módulos por Ingenieros extranjeros y españoles, partiendo de distintos principios y empleando procedimientos más ó ménos ingeniosos. Las dificultades técnicas de esta clase de problemas

corren parejas con las que ofrece el ensayo práctico, largo y costoso, y sólo económicamente realizable en circunstancias muy especiales del servicio público.

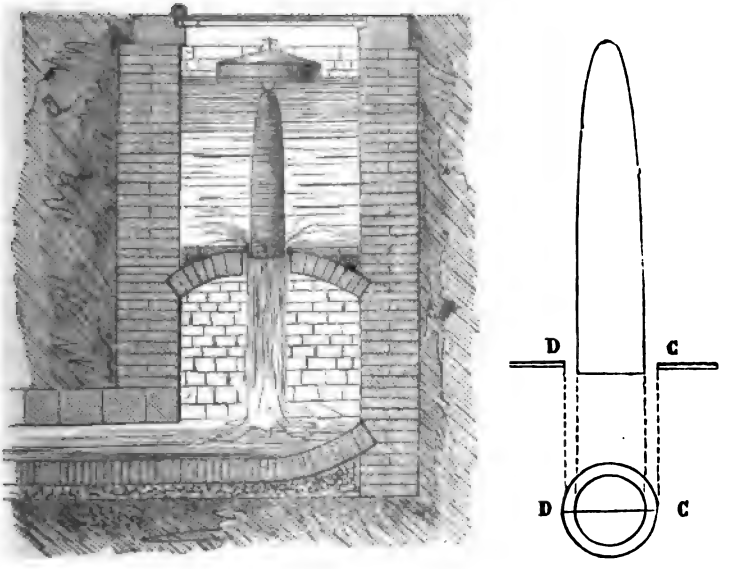


Figs. 8 y 9.—Planta del módulo de Ribera y seccion segun la línea *CD*.

No permitiéndonos la índole de este trabajo entrar en un exámen detenido y comparativo de los diferentes medios propuestos, nos limitaremos á dar cuenta de los que, satisfaciendo más ó ménos completamente á las condiciones generales ántes enunciadas, han adquirido en nuestro país la sancion indispensable de la práctica.

Módulo de Ribera. El que mejor llena su objeto es, á nuestro juicio, el módulo ideado por D. Juan de Ribera, director que fué del canal del Lozoya, en el cual tuvo ocasion de someterlo con éxito feliz al fallo de la experiencia.

Obtiénese el gasto constante de un líquido, haciendo de manera que el orificio de salida y la carga sean invariables, ó bien procurando que al propio tiempo que la carga aumenta ó disminuye, mengüe ó crezca la seccion del orificio de salida en la proporcion conveniente para que, compensándose los factores del gasto, permanezca constante el producto.



Figs. 10 y 11.—Corte segun la línea *A B* de la planta.—Proyecciones de la válvula.

El Sr. de Ribera se decidió por la segunda de estas dos soluciones para la construccion de su módulo. La figura 8 representa la planta; la figura 9 una seccion por la línea *CD* de la misma; la figura 10 otra seccion por la línea *AB*, y la figura 11 el alzado y proyeccion horizontal de la válvula.

Consiste el módulo de Ribera en un depósito que se halla en comunicacion con el canal; en el fondo de aquél se abre un orificio circular, de mayor superficie que la correspondiente al caudal de agua á que ha de dar paso, y en el cual se introduce una válvula de cobre, á la que su autor dió el nombre de *péndola*, de longitud próximamente igual á la altura máxima que pueda tener el agua en dicho depósito. Esta péndola, de diámetro decreciente desde la base al vértice, se halla suspendida de un flotador de laton, de modo que al variar la altura del agua pueda subir ó bajar libremente dentro del orificio, dejando siempre un espacio anular tanto mayor, cuanto menor sea la altura de la carga, y viceversa.

Se ve, por lo tanto, que la péndola debe afectar la forma de una superficie de revolucion, cuya seccion meridiana tenga ordenadas decrecientes á medida que los puntos respectivos vayan aproximándose al vértice de la curva, con el objeto de que el agua que salga por el anillo ó corona sea siempre la misma.

Representándose el gasto por 1″ por medio de la fórmula $Q = ms\sqrt{2gh}$, siendo g la intensidad de la gravedad, h la distancia que media entre el orificio y el nivel superior del líquido, m el coeficiente de contraccion de la vena líquida, y s el área del orificio de salida, que en este caso es una corona cuyos diámetros son D y d, tendremos:

$$\left.\begin{aligned} Q &= ms\sqrt{2gh} \\ S &= \tfrac{\pi}{4}\left(D^2 - d^2\right) \end{aligned}\right\} \quad Q = \tfrac{m\pi}{4}\left(D^2 - d^2\right)\sqrt{2gh}$$

de donde

$$d^2 = D^2 - \frac{4Q}{m\pi\sqrt{2gh}} \qquad \text{y} \qquad d = \sqrt{D^2 - \frac{4}{m\pi\sqrt{2g}} \times \frac{Q}{\sqrt{h}}}.$$

El coeficiente m, segun los experimentos del Sr. de Ribera, es por término medio $m=0,63$, con lo cual, siendo la intensidad de la gravedad en Madrid $g=9^{m},80449$, será: $\frac{1}{m\pi\sqrt{2g}}=0,456325$, y sustituyendo este valor en la fórmula anterior resulta:

$$d=\sqrt{D^{2}-0,456325\,\frac{Q}{\sqrt{h}}}.$$

Por medio de esta fórmula, dado el diámetro D del orificio y el caudal constante Q que deba suministrar el módulo, se podrá determinar, para cada altura h que tome el agua en el canal, el diámetro d de la péndola en la seccion recta que coincida con el plano del orificio. De esta manera se han calculado las ordenadas de la curva meridiana de varias péndolas, las cuales, en los años que llevan de uso, han respondido satisfactoriamente á los resultados del cálculo.

El módulo de Ribera llena casi todas las condiciones exigibles á un aparato de esta naturaleza: suministra un volúmen constante, adecuado á la dotacion que le corresponde, es sencillo y automóvil, se halla fuera del alcance de los usuarios que puedan tener interés en aumentar el caudal, no ha exigido gasto alguno de conservacion despues de varios años de uso, y ocupa un reducido espacio.

Inconvenientes del módulo de Ribera y medios de obviarlos. Ofrece, sin embargo, el módulo de Ribera un inconveniente, reconocido por el mismo autor, inconveniente que, en los casos en que el terreno regable ofrezca poca pendiente, puede llegar á imposibilitar su uso. Consiste aquel en la considerable pérdida de nivel que experimenta el agua al pasar á la hijuela de derivacion, á consecuencia de la profundidad que hay que dar al pozo de desagüe para que pueda alojar la péndola en el descenso producido por la disminucion de la altura de las aguas en el canal de conduccion.

El mismo autor salió al encuentro de esta grave objecion en un artículo inserto en el tomo XVII de la *Revista de Obras*

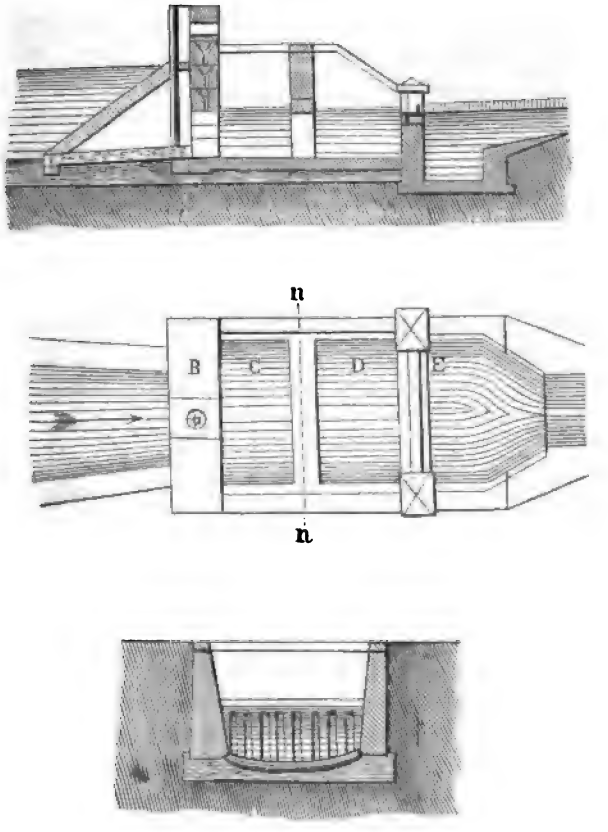
públicas, diciendo que, si se cierra el desagüe de fondo y se abre en la parte superior de la cámara en uno de sus costados (fig. 10), la salida del agua se verificará con una pérdida de altura que podrá reducirse á pocos centímetros respecto al fondo del canal. Es evidente que, sumergiéndose la péndola al bajar á la cámara inferior, experimentará variaciones la inmersion del flotador por la pérdida del peso del aparato, variaciones que perturbarán la invariabilidad del gasto. Haciendo la péndola hueca en vez de maciza, estas variaciones serán indudablemente menores; y de todos modos puede corregirse, como dice el autor, modificando su curvatura en la parte insignificante en que esta nueva causa de error lo exija. Siendo la péndola hueca, habria que contar además con la necesidad de dar salida al aire que en su interior se alojara, con el fin de evitar que, reaccionando dicho aire al esfuerzo de la compresion, se perturbara la marcha regular del aparato.

Vemos, pues, que el módulo de Ribera, con las modificaciones que el mismo autor aconseja y con la que acabamos de indicar, áun para aquellos casos en que la pérdida de altura ofrezca serios inconvenientes, llena los requisitos que pueden exigirse, sin que por esto digamos que llegue á la precision matemática, imposible en la práctica, y á la vez innecesaria para los usos á que los módulos se destinan.

Módulo adoptado para los riegos del canal del Henares. Para el servicio del canal derivado del rio Henares ha ideado el Ingeniero director Mr. George Higgin un módulo fundado en la salida de las aguas de un depósito tranquilo y de nivel constante por un orificio de pared delgada dispuesto en forma de vertedero.

Las figuras 12, 13 y 14 dan suficiente idea de la disposicion del aparato. Las aguas del canal de alimentacion pasan por una compuerta de fondo á un primer canalizo *C*, en el cual se hallan sumamente agitadas por efecto del hervidero que produce el movimiento ascensional debido á la carga que actúa sobre el orificio de entrada. De la primera

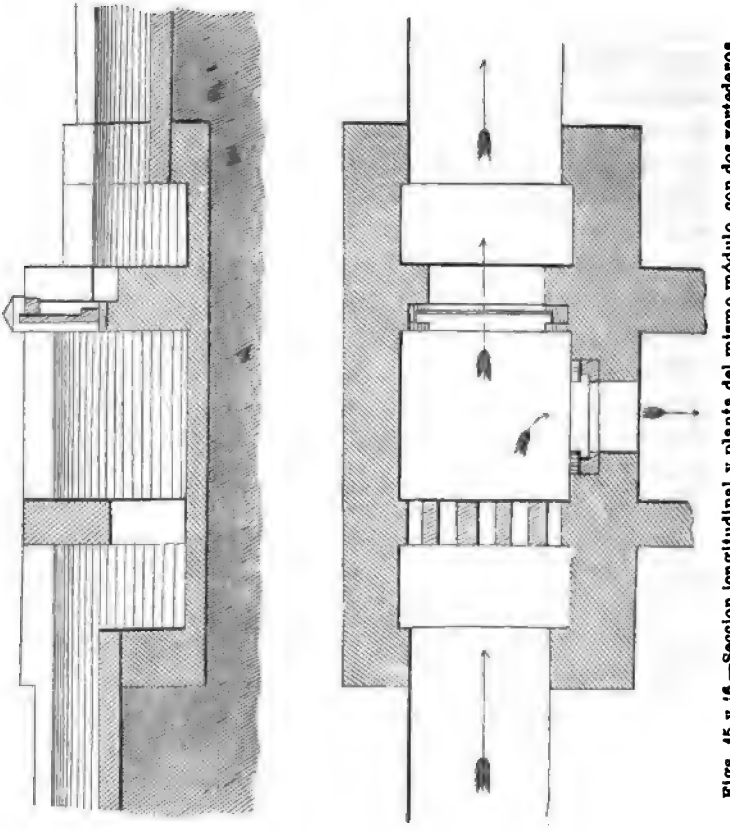
cámara *C* pasan á la segunda *D* al través de ocho pequeñas aberturas (fig. 14) de $0^m,14$ de luz cada una, practicadas en el tabique divisorio *nn*, cuyo objeto es calmar la agitacion



Figs. 12, 13 y 14.—Corte longitudinal. Planta. Seccion *nn* del módulo usado en el canal del Henares.

del líquido. Las aguas llegan á la segunda cámara suficientemente tranquilas para que su velocidad pueda dejarse de tomar en cuenta. En el muro *E* se halla dispuesto un orificio rectangular de pared delgada, cuya seccion viene dada

por los bordes de una lámina metálica. La base del rectángulo tiene una longitud constante de dos metros, y su altura es variable, puesto que la marca el nivel del agua en la segunda cámara, á cuyo fin lleva ésta señalada en el muro la-



Figs. 15 y 16.—Seccion longitudinal y planta del mismo módulo con dos vertederos.

teral una escala graduada, cuyo cero se corresponde de nivel con el de la base del orificio hidrométrico.

Las figuras 15 y 16 representan un módulo del mismo sistema para el surtido de dos hijuelas, el cual sólo difiere del anterior en que lleva dos vertederos en vez de uno.

Calculado el gasto por medio de la fórmula de los verte-

deros mediante la admision de un coeficiente de contraccion, que segun Mrs. Poncelet y Lesbros, es $m = 0{,}405$ para aquella clase de orificios, y formada una tabla para los volúmenes correspondientes á cada una de las divisiones de la escala, se tendrán todos los datos necesarios para el servicio del aparato, cualquiera que sea el volúmen que tenga que suministrar en la unidad de tiempo. Determinado por las necesidades del servicio el volúmen que tenga que proporcionar el módulo, no hay más que subir ó bajar la compuerta de entrada hasta que el nivel del líquido en la segunda cámara marque en la escala graduada la division á que dicho volúmen corresponda.

Sin necesidad de entrar en más amplios detalles, se advierte desde luégo el grave inconveniente que este aparato ofrece por exigir una manipulacion en la compuerta de entrada, con el objeto de que el nivel del agua en la segunda cámara permanezca constante cada vez que por cualquier causa aumente ó disminuya la carga en el canal principal. Claro es que el descenso, por ejemplo, de las aguas en este canal ha de producir una disminucion en la altura de derrame del orificio hidrométrico y una reduccion consiguiente en el volúmen por segundo suministrado por el módulo; y que, para que este fenómeno no se produzca, habrá necesidad de restablecer el nivel en la cámara tranquila, aumentando la seccion de entrada de aguas en la primera cámara mediante la elevacion correspondiente de la compuerta.

Distribucion del agua entre los regantes. La distribucion de las aguas entre las distintas parcelas varía segun la naturaleza de los contratos ó segun las condiciones estipuladas en los respectivos reglamentos.

Canal del Henares. En el canal del Henares el terreno regable se halla dividido en varias zonas de 300 á 350 hectáreas, las cuales se riegan con las aguas del brazal correspondiente, derivadas de la acequia principal de alimentacion y sujetas á medida por medio de un módulo construido en el punto de toma.

La administracion del canal posee un plano parcelario y un libro-registro en el que constan la cabida exacta de cada parcela, el nombre del propietario y el módulo de que se sirve. Al llegar la estacion del riego, cada regante manifiesta al Jefe del servicio la cantidad de agua que necesita, la época y duracion de los riegos, la extension del terreno, etc., todo arreglado al modelo que se facilita al efecto. La administracion, en presencia de los pedidos, teniendo en cuenta el caudal disponible y partiendo del volúmen fijo de 450 metros cúbicos por riego y hectárea, determina el gasto continuo que á cada brazal corresponde, da al guarda una nota de la altura que deben tener los módulos, del tiempo que deben permanecer abiertos y del número de horas de riego que corresponde á cada propietario.

Suponiendo que se disponga del volúmen suficiente para satisfacer los pedidos, ó admitida una tanda de riegos adecuada al caudal de que se dispone, se determina el gasto continuo por segundo que corresponde al volúmen que debe emplearse en el riego de la zona para cada tanda. Conociendo la cantidad de agua que debe asignarse al riego de cada parcela, se da al primer regante toda la dotacion del brazal durante el tiempo necesario para componer el volúmen atribuido; terminado el riego de la primera parcela, pasan las aguas á la segunda en la misma forma, y así sucesivamente hasta llegar á la parcela más distante del orígen del brazal.

El guarda lleva un libro de registro en que constan las disposiciones del Jefe del servicio, los riegos suministrados y la toma de razon de las papeletas-órdenes del registro de riegos para cada uno de los regantes.

Distribucion de las aguas por medio del módulo de Ribera. El módulo usado en el canal del Henares es susceptible de dar volúmenes continuos, acomodados á las diversas necesidades del riego, con sólo modificar la dimension variable del orificio hidrométrico, haciendo que el nivel del agua en la cámara tranquila marque la division correspon-

diente de la escala fija. El módulo de Ribera se construye para un gasto continuo único: este gasto debe ser el máximo relativo á la extension de la zona servida por el brazal, calculado para la tanda que permitan las condiciones normales del caudal disponible y la rotacion media de los riegos, segun los cultivos. Una vez deducido el gasto máximo correspondiente á cada brazal, la distribucion del agua entre los regantes puede hacerse de una manera análoga á la que hemos indicado para el caso anterior. Conocido el volúmen que necesita para el riego cada uno de los propietarios, y el gasto por segundo que el módulo suministra, es fácil deducir el número de horas durante el cual cada uno de aquellos podrá disponer del agua. Supongamos, por ejemplo, que el volúmen fijado para el módulo sea de 55 litros por segundo: si el primer propietario tiene que regar dos hectáreas á razon de 500 metros cúbicos de agua por hectárea, necesitará un volúmen de 1.000 metros cúbicos, y para ello será preciso que aproveche, durante cinco horas y tres minutos, los 55 litros de agua por segundo que discurren por el brazal. En efecto; 1.000 metros cúbicos=1.000.000 litros=55 litros $\times x$ segundos: ó bien x segundos $= \frac{1.000.000}{55} = 18181'' = 5$ horas 3 minutos.

Unidad de medida para las aguas de riego. En nuestro concepto la unidad de medida debe basarse en el volúmen absoluto del caudal asignado al riego, cualesquiera que sean las condiciones del módulo que lo facilite; así es que, en rigor, la unidad deberia ser el metro cúbico de agua. Pero á fin de evitar los inconvenientes de una unidad demasiado pequeña, la trasformaríamos en otra múltipla y homogénea, por ejemplo, 500 metros cúbicos, tipo medio necesario para el riego de una hectárea, á cuyo volúmen deberia sujetarse el precio regulador del cánon para las distintas parcelas y cultivos. Fijado un precio al volúmen de 500 metros cúbicos de agua, es sumamente fácil deducir el que corresponde á una superficie cualquiera, y á un riego más ó ménos abundante, así como el cánon anual, una vez expre-

sado el volúmen de un riego y el número de estos. La unidad la dividiríamos en cien partes; de modo que el centavo, fraccion mínima atendible en la mayor parte de los casos, sería de 5 metros cúbicos.

Unidades extranjeras. *Onza ó pulgada milanesa.*—Ya hemos dicho, al ocuparnos del módulo milanés, que la onza ó pulgada milanesa es el volúmen que sale al aire libre por un orificio rectangular de cuatro pulgadas milanesas (0^m,20) de altura, tres de ancho (0^m,15), bajo una carga constante de dos (0^m,10). Este gasto, segun Vignotti, es de 44,67 litros por segundo, tipo medio adoptado oficialmente para los distintos módulos que dan múltiplos de la onza.

Pulgada de fontanero francesa. *Pouce d'eau.*—Esta unidad representa la cantidad de líquido que pasa, durante un segundo de tiempo, por un orificio circular de una pulgada de diámetro, abierto en pared delgada y vertical, con una carga de una línea sobre el borde superior del orificio, ó de siete líneas sobre su centro. Este volúmen es de 0,2222 litros por segundo; de 13,333 litros por minuto; de 799,98 litros por hora; ó finalmente, de 19,199 metros cúbicos en veinticuatro horas. La media pulgada es la cantidad que fluye en la unidad de tiempo por un orificio circular de media pulgada de diámetro, y no representa más que la cuarta parte del volúmen atribuido á la pulgada. Asimismo el $\frac{1}{4}$ de pulgada no representa más que el $\frac{1}{16}$ de dicho volúmen, y la línea el $\frac{1}{144}$, siendo constantemente de siete líneas la carga sobre el centro del orificio.

Pulgada de Prony. El Ingeniero francés M. Prony, queriendo armonizar esta medida con las del sistema métrico, dió al orificio un diámetro de 2 centímetros, y le ajustó un tubo cilíndrico adicional en direccion normal á la superficie, de 17 milímetros de diámetro. Adoptando una carga de 2 centímetros sobre el borde superior del orificio, obtuvo un gasto de 20 metros cúbicos en veinticuatro horas. A esta unidad se le ha conservado la denominacion de pulgada de agua.

Unidades de medida usadas en varias comarcas de España. *Real fontanero de Madrid.*—El nombre de *real de agua* procede de haberse supuesto que es la cantidad de líquido que sale sin interrupcion por un orificio circular del diámetro de un real de vellon; pero como no hay avenencia respecto á la magnitud de este diámetro, que unos suponen de 6 ½ líneas y otros de 7, ni ménos respecto á la altura de la carga á contar desde el borde superior del orificio, de ahí la gran diversidad de los volúmenes que á dicha unidad se han asignado. Polanco, que escribia por los años de 1727, apreciaba el real de agua en la cantidad de 9,27 pulgadas cúbicas por 1″; Vallejo halló, por los experimentos que hizo en 1824 con un marco de Madrid, que el real equivalia á 5,36 pulgadas cúbicas por 1″, y posteriormente el Ingeniero Barra indicó, como resultado de sus observaciones, que su valor era de 2,98 pulgadas cúbicas por segundo. Del exámen de los marcos usados en Madrid con la misma denominacion resulta, segun el Ingeniero Sr. de Ribera, que no hay dos que den el mismo volúmen, llegando la anomalía hasta el punto de dar unos doble cantidad que otros.

En vista de esta anomalía, en el proyecto de conduccion de aguas del Lozoya propuso el citado Ingeniero, y fué adoptada como valor del real fontanero, la cantidad de 3 pulgadas cúbicas por 1″, prescindiendo de las circunstancias del caño ú orificio por donde sale.

Segun este tipo, el real fontanero equivale á 3 pulgadas cúbicas por 1″=180 pulgadas cúbicas por 1′=6 ¼ piés cúbicos por hora=150 piés cúbicos, ó sean 100 cubas de tamaño ordinario en veinticuatro horas.

Su correspondencia, con las medidas métricas, es la siguiente:

1 real fontanero=0,000037556 metros cúbicos por 1″= 0,00225336m^3 por 1′= 0,13520160 por hora= 3,2448384m^3 por veinticuatro horas, y 1 litro por segundo=27 reales fontaneros próximamente.

1 metro cúbico		por segundo	= 26.626	rs. fontaneros.
1	—	por minuto	= 443,76	—
1	—	por hora	= 7,399	—
1	—	por dia	= 0,308	—

Pluma barcelonesa. En Barcelona se atribuye oficialmente á la *pluma de agua* el gasto continuo de $\frac{1}{40}$ de litro ó 0,025 litros por segundo, que equivale á 90 litros por hora y á 2.160 litros por dia. El patron, marco ó cubeta de aforo que tuvimos ocasion de examinar en casa del Sr. Rovira, arquitecto fontanero del municipio, no suministra el volúmen adoptado como tipo oficial, puesto que á la seccion circular de 5,8 milímetros de diámetro, y á la carga de 78 milímetros que medimos sobre el centro del orificio, no corresponde, aplicando la fórmula $Q = 0{,}62\ s\ \sqrt{2gh} = 2{,}75\ s\ \sqrt{h}$, más que un gasto de 0,01985 litros, ó sea cerca de $\frac{1}{50}$ de litro por segundo. Para que con la misma seccion de orificio diese el marco el $\frac{1}{40}$ de litro por 1″, sería preciso que la carga sobre el centro fuese de 9,42 centímetros.

Pluma de Mataró. La pluma adoptada oficialmente por el municipio de la ciudad de Mataró en 1820, se usa comunmente como unidad de medida para el abastecimiento urbano en todas las poblaciones de aquel litoral, y difiere notablemente de la pluma barcelonesa, tanto en el gasto como en el procedimiento empleado para su medida. Obtiénese el volúmen que dicha unidad representa por medio de un orificio de 10 milímetros de diámetro, provisto de un tubo horizontal cilíndrico, de idéntica seccion, y de 24 milímetros de longitud, con una carga constante de $\frac{3}{4}$ de palmo (0^{m},147) sobre el centro del orificio.

Está aforada la pluma mataronesa en un volúmen de 64 cargas de agua, ó sea 7,921 metros cúbicos para las veinticuatro horas. Calculado *a priori* dicho gasto por la fórmula correspondiente á los tubos adicionales de Bossut, Michelotti y Hachette $Q = 0{,}82\ s\ \sqrt{2gh} = 3{,}62\ s\ \sqrt{h}$, encontramos 0,0896 litros por 1″, ó 7508 litros en las veinticuatro horas, resultado que difiere poco del tipo normal de las 64 cargas.

Los múltiplos y divisores de la pluma, segun tuvimos ocasion de observar en los diferentes tipos que nos facilitó D. Mariano Ubach, constructor fontanero de Arenys de Mar, se obtienen por medio de orificios provistos de un tubo adicional de la misma longitud, sometidos á la misma carga sobre su centro, y cuyos diámetros son:

Para 2	plumas.....	un diámetro de	13	milímetros.
Para 3	—	—	de 16	—
Para $\frac{1}{2}$	—	—	de 7	—
Para $\frac{1}{4}$	—	—	de 5	—
Para $\frac{1}{16}$	—	—	de 2,5	—

Calculamos *a priori* los gastos correspondientes á los múltiplos, y resultaron:

Para 2 plumas = 0,1825 litros por 1″ = 15,768^{m3} por 24 horas.
Para 3 — = 0,2765 — por 1″ = 22,524^{m3} —

El primero difiere en 152 litros del gasto que, por veinticuatro horas, corresponderia á la doble pluma; el segundo resulta exacto.

Los submúltiplos dan gastos algo menores, calculados directamente por medio de la fórmula.

La comprobacion del calibre de los tubos adicionales se hace por medio de una llave maciza de cobre perfectamente torneada, cuya seccion recta corresponde á las dimensiones del orificio relativo á la misma unidad y á sus múltiplos y divisores.

Segun los datos que nos ha facilitado el distinguido Ingeniero y excelente amigo nuestro D. Melchor de Palau, el patron existente en el archivo municipal de Mataró, la *pluma* de agua local, se mide por un orificio de 0,0096 metros de diámetro, provisto de un tubo adicional de 0,05 metros de longitud y con una carga de 0,1458 metros. Calculado el gasto por la fórmula $Q = 3{,}62\ s\ \sqrt{h}$, resulta un volúmen por segundo de 0,09981 litros, de 359 litros por hora, ó de 8,664 metros cúbicos por dia.

Existen en Cataluña, y especialmente en el llano de Barcelona, otras medidas que no son enteramente fijas, como deben serlo los tipos, pero que se consideran como aproximados: tales son la *muela*, que equivale á 7.439 metros cúbicos en veinticuatro horas, ó sean 3.381 plumas barcelonesas de á 2.200 litros; la *regadera*, que es equivalente á 1.859 metros cúbicos ó 845 plumas; la *fibla gruesa* á 1.100 metros cúbicos ó 500 plumas, y la *teja* á 220 metros cúbicos ó 100 plumas de á 2.200 litros.

Fila valenciana, hila de Lorca, hilos de los pantanos de Tibi y Elche. Ninguna de estas unidades corresponde á un volúmen fijo por segundo; equivalen por lo general á una fraccion de un volúmen variable con el caudal de que se dispone para el riego en cada caso, y con las modificaciones que ha experimentado la propiedad de las aguas con el trascurso del tiempo. No entraremos en detalles acerca de la naturaleza de cada una de estas unidades, reservando nuestro propósito para el TOMO II cuando estudiemos los riegos de las localidades respectivas.

Muela del canal Imperial de Aragon. Para los riegos del canal Imperial de Aragon se admite como unidad de medida del agua la *muela*, que equivale á un gasto continuo de 260 litros por segundo.

Unidades usadas en la provincia de Málaga. En la cuenca del rio Guadalhorce se admite como unidad práctica para el aforo de las aguas de riego la *parte* ó *azada* de agua, que es la cantidad máxima que un regador puede ir guiando con la azada sin que se le vaya: equivale por término medio, segun el inteligente propietario de Málaga D. Manuel Casado, á un volúmen de 15 litros por segundo. Para el abastecimiento urbano se usan en la provincia de Málaga la *paja de agua* y el *real fontanero*, unidades ambas de naturaleza algun tanto vaga. La acepcion más corriente es la de 1,50 metros cúbicos al dia para el real fontanero, y la mitad de dicho volúmen para la paja.

SEGUNDA PARTE

MEDIOS DE PROCURARSE EL AGUA

Sentados los preliminares que han formado el objeto de la primera parte de este trabajo, vamos á entrar ahora en el exámen de los medios generales de procurarse las aguas de riego, concretando nuestro estudio á los siguientes:

1.° La desviacion de las aguas de los rios y arroyos por medio de presas, y su conduccion y distribucion por medio de canales.

2.° El almacenamiento en depósitos ó pantanos de las aguas de pequeños manantiales, y de las que, procedentes de las lluvias, suministra la corriente superficial en la cuenca de recepcion respectiva.

3.° El alumbramiento de las aguas subterráneas, y como caso particular la elevacion de las artesianas.

Y 4.° La elevacion de las aguas por medios mecánicos.

CAPÍTULO VIII.

CANALES DE RIEGO.—PRELIMINARES.

La desviacion de las aguas del cauce natural de los rios y arroyos por medio de presas, y su conduccion y distribucion por medio de canales, constituyen evidentemente el procedimiento susceptible de proporcionar mayores volúmenes de agua para el ejercicio de la actividad agrícola.

En el capítulo de INTRODUCCION hemos examinado las diversas categorías económicas que en esta clase de proyectos pueden establecerse, segun puedan ser llevados á cabo con feliz éxito por el interés privado, individual ó colectivo, ó sean sólo realizables por el Estado, armonizando los intereses de la comarca beneficiable con los generales de la riqueza pública.

Vamos ahora á ocuparnos brevemente del estudio de los canales de riego en su parte puramente técnica y general, dejando para los tratados especiales de construccion cuanto se refiera á detalles de clases de fábrica y á su ejecucion, y al proyecto de las obras más importantes.

Partes constitutivas de un sistema completo de canal de riego. En un sistema completo de obtencion de aguas por el medio indicado hay que distinguir las partes siguientes: 1.ª La presa y toma de aguas. 2.ª El canal principal de conduccion. 3.ª Los canales secundarios ó de derivacion. 4.ª Las acequias ó brazales de distribucion. 5.ª Los canales ó *almenaras* de desagüe. Y 6.ª Los *azarbes* ó *escorredores*.

Las aguas represadas en el cáuce natural del rio ó arroyo pasan en totalidad ó en parte al *canal de conduccion:* éste recorre un trayecto más ó ménos largo, y distribuye su caudal entre las grandes zonas de riego por medio de los *canales secundarios:* se ramifican éstos á su vez dando orígen á las *acequias, brazales* é *hijuelas*, de las cuales parten finalmente las *caceras, regaderas* ó *regatas,* que constituyen el último órden de ramificacion, y suministran directamente el riego á una ó varias parcelas.

Estos diferentes órdenes de derivacion, ni existen siempre constituyendo un sistema completo, ni se ofrecen en los más de los casos con caracteres perfectamente definidos; así, por ejemplo, el canal principal, en lugar de ser una simple línea de conduccion, puede suministrar directamente el riego á las parcelas inmediatas, y lo mismo puede suceder con respecto á las demás líneas, en la totalidad ó en una parte de su desarrollo.

Los *azarbes* ó *escorredores* forman un sistema análogo al de distribucion, aunque dispuesto en sentido inverso, puesto que teniendo por objeto reunir las aguas sobrantes del riego para conducirlas de modo que no produzcan estancamientos perniciosos, las ramificaciones van disminuyendo en número y aumentando en importancia á medida que se acercan al punto de desagüe definitivo. Las aguas de este sistema colector suelen denominarse *muertas,* en correlacion con el nombre de *vivas* que suelen recibir las aguas del sistema distributivo.

En la huerta de Murcia, los cáuces de aguas vivas que constituyen el sistema distributivo, toman, por su órden descendente de importancia, los nombres de *acequias mayores, acequias menores, brazales* y *regaderas;* y los del sistema colector se llaman, por el órden de menor á mayor, *escorredores, azarbetas* y *azarbes* ó *landronas.*

Los canales de desagüe ó *almenaras* son líneas de conduccion que comunican con el cáuce principal ó con las acequias de derivacion, y tienen por objeto descargarlas en caso de inundaciones, y facilitar las limpias y reparaciones mediante las convenientes maniobras de aislamiento.

Antes de entrar en el detalle del estudio y ejecucion de cada una de las partes del sistema que estamos examinando, creemos oportuno dejar sentadas algunas ideas preliminares, relativas á la pendiente y seccion de los canales, al movimiento de las aguas, etc.

Pendiente de los canales. La determinacion de la pendiente de un canal de riego constituye un problema delicado y de resolucion casi siempre difícil.

Como la pendiente está relacionada con la velocidad con que discurren las aguas, si aquella es demasiado escasa no corren éstas con la velocidad conveniente para facilitar el gasto continuo y abundante que ocasiona el riego; y cuando las aguas son turbias, los légamos y arenas, que por la disminucion de la velocidad se depositan en el fondo, obstruyen la acequia, dificultan las tomas de agua y aumentan consi-

derablemente los gastos de limpia. El aumento de la pendiente determina un descenso en la línea de nivel del canal, y disminuye, por consiguiente, la extension del terreno regable; produciendo además un aumento correspondiente en la velocidad del agua, da mayor energía á su fuerza erosiva, y puede, por lo tanto, dar lugar á erosiones en el fondo y en las márgenes, que lleguen á alterar el régimen de la corriente.

La pendiente no debe, sin embargo, ser arbitraria; dependerá de la naturaleza del terreno más ó ménos permeable, de los accidentes del trayecto que tenga que recorrer el canal, etc.

Sganzin fija como límites superiores para las pendientes de las grandes derivaciones de $0^m,10$ á $0^m,15$ por kilómetro, y para los pequeños brazales de 1^m á $1^m,5$; el término medio generalmente adoptado por los Ingenieros que se han dedicado á la construccion de canales de riego es de $0^m,40$ á $0^m,50$ por kilómetro. Cuando la pendiente resulte muy considerable en los distintos tramos, puede regularizarse gastándola por medio de saltos ó cascadas.

El Ingeniero Sr. de Ribera adoptó la pendiente $\frac{1}{5.000}$ para las acequias derivadas del Lozoya; en el canal de Urgel la pendiente por metro es de $0^m,0005$; en el del Príncipe Alfonso, de $0^m,0004$; en el del Henares la pendiente general es de $0^m,0116$ por metro, y en el canal Imperial de Aragon, destinado al doble objeto de la navegacion y el riego, la pendiente por metro es de $0^m,0001$.

Conviene hacer notar que cuanto mayor sea la pendiente longitudinal de un canal, tanto menor deberá ser la seccion necesaria para obtener un caudal de agua dado, resultando por lo tanto en general con el aumento de pendiente una economía en el movimiento de las tierras. Algunas veces, sin embargo, tratándose, por ejemplo, del paso de una divisoria, el aumento de pendiente exigirá la apertura de una profunda trinchera ó la perforacion de un túnel, cuando con una pendiente menor se hubiera tal vez podido pasar sobre el terreno natural.

Velocidad de las aguas. Cuando se trata de determinar la velocidad de las aguas de una corriente natural ó artificial, hay que tomar en cuenta:

1.° La velocidad en la superficie que M. Prony representa por la letra u.

2.° La velocidad media V correspondiente al gasto efectivo $Q = sV$.

3.° La velocidad en el fondo del cauce W.

Entre estas tres velocidades ha encontrado M. Prony las dos relaciones siguientes: $V = \frac{1}{2}(u + W)$, $V = 0{,}80\,u$, de modo que en la práctica pueden admitirse aproximadamente las relaciones:

$$u = 1{,}25\,V \qquad V = 0{,}80\,u \qquad W = 0{,}60\,V$$
$$u = 1{,}67\,W \qquad V = 1{,}33\,W \qquad W = 0{,}75\,u.$$

La aplicacion de estas fórmulas está limitada por la mayor ó menor resistencia que oponen los terrenos á la fuerza erosiva del agua. La tabla siguiente indica los límites superiores de las velocidades en los canales de riego:

NATURALEZA DEL LECHO	LÍMITES DE LA VELOCIDAD		
	En el fondo — Metros por 1"	Media — Metros por 1"	Superficial — Metros por 1"
	m	m	m
Tierra esponjosa, lodo	0,076	0,101	0,127
Arcilla tierna.....	0,152	0,202	0,254
Arena	0,305	0,405	0,509
Grava.....	0,609	0,810	1,017
Cascajo	0,614	0,817	1,025
Piedra machacada.....	1,220	1,628	2,037
Morrillos aglomerados, esquisto blando.....	1,520	2,202	2,538
Roca estratificada.....	1,830	2,434	2,956
Roca dura.....	3,050	4,560	5,094

Velocidad media. Varias son las fórmulas empleadas para determinar la velocidad media de una corriente. Las principales, conocidas con los nombres de los autores que

las dedujeron, son las de Prony, Eytelwein, Tadini, Darzy, Bazin y Kutter.

Fórmulas de Prony y Eytelwein. Para una corriente de seccion constante y pendiente uniforme, M. de Prony estableció la fórmula siguiente, despues de discutir los resultados de treinta y una observaciones practicadas por M. Dubuat en canales y rios cuyas secciones variaban entre 0,11 y 29 metros cuadrados, y cuya velocidad media estaba comprendida entre $0^m,12$ y $0^m,88$ por segundo.

$$I = \frac{P}{S}\left(aV + bV^2\right) \quad (1)$$

En esta fórmula, I representa la pendiente; S el área de la seccion de aguas; $a = 0,0000444$ un factor numérico constante, lo mismo que $b = 0,0003093$; V la velocidad media y P el *perímetro mojado*, ó el contorno de la seccion S disminuido de la parte correspondiente á la cara de aguas.

Estos valores de a y b, deducidos por M. Prony, fueron modificados posteriormente por M. Eytelwein, despues de noventa y una observaciones practicadas en canales y rios, cuyas secciones variaron entre 0,14 y 2064 metros cuadrados, y cuyas velocidades estaban comprendidas entre $0^m,124$ y $2^m,420$ por segundo.

Segun M. Eytelwein,

$$I = 0,00036554\,\frac{P}{S}\left(V^2 + 0,0664\,V\right) \quad (2)$$

Despejando V resulta

$$V = -0,03319 + \sqrt{2735,66\,\frac{IS}{P} + 0,0011}$$

ó aproximadamente

$$V = \sqrt{2736\,\frac{IS}{P}} - 0,033.$$

Para grandes velocidades, desde un metro por segundo en adelante:

$$V = 51\sqrt{\frac{IS}{P}} \qquad \text{y} \qquad Q = 51S\sqrt{\frac{IS}{P}}.$$

Haciendo en la fórmula (2) $V = \frac{Q}{S}$, resulta:

$$IS^3 = 0{,}00036554\, P\,(Q^2 + 0{,}0664\, QS).$$

La fórmula de Eytelwein suele presentarse por algunos autores bajo la forma siguiente:

$$(1) \quad D \cos.\, \varphi = au + bu^2$$

en que u representa la velocidad media buscada, D la relacion que ántes hemos llamado $\frac{S}{P}$ entre la seccion y el perímetro mojado, y cos. φ el coseno del ángulo que forma el lecho con la vertical, ó sea la relacion entre la diferencia de nivel entre los dos puntos que se consideran y la distancia directa que separa dichos puntos. Representan en este caso dichos autores la pendiente por cos. φ, confundiendo la distancia directa con la horizontal.

Para facilitar las aplicaciones de la fórmula de Eytelwein, que determina la velocidad media de una corriente, cuando se conocen la seccion y la pendiente, ha calculado M. Nadault de Buffon la siguiente tabla en que los números comprendidos en las columnas que dan la relacion $\frac{IS}{P}$ expresan diez millonésimas de metro.

Velocidad media = u.....	$\frac{IS}{P}$	Velocidad media = u.....	$\frac{IS}{P}$	Velocidad media = u.....	$\frac{IS}{P}$	Velocidad media = u.....	$\frac{IS}{P}$
0,01	3	0,47	922	0,93	3387	1,39	7400
0,02	6	0,48	959	0,94	3458	1,40	7504
0,03	11	0,49	997	0,95	3530	1,41	7609
0,04	16	0,50	1035	0,96	3602	1,42	7715
0,05	21	0,51	1075	0,97	3675	1,43	7822
0,06	28	0,52	1115	0,98	3749	1,44	7929
0,07	35	0,53	1155	0,99	3823	1,45	8037
0,08	43	0,54	1197	1,00	3898	1,46	8146
0,09	51	0,55	1239	1,01	3974	1,47	8258
0,10	60	0,56	1282	1,02	4051	1,48	8366
0,11	71	0,57	1326	1,03	4128	1,49	8477
0,12	82	0,58	1370	1,04	4206	1,50	8589
0,13	93	0,59	1416	1,05	4286	1,51	8701
0,14	106	0,60	1461	1,06	4364	1,52	8814
0,15	119	0,61	1508	1,07	4445	1,53	8928
0,16	132	0,62	1556	1,08	4526	1,54	9043
0,17	147	0,63	1604	1,09	4607	1,55	9158
0,18	162	0,64	1653	1,10	4690	1,56	9274
0,19	178	0,65	1702	1,11	4773	1,57	9391
0,20	195	0,66	1753	1,12	4857	1,58	9509
0,21	212	0,67	1803	1,13	4942	1,59	9627
0,22	230	0,68	1855	1,14	5027	1,60	9746
0,23	249	0,69	1908	1,15	5113	1,61	9866
0,24	269	0,70	1961	1,16	5200	1,62	9986
0,25	289	0,71	2015	1,17	5288	1,63	10108
0,26	310	0,72	2070	1,18	5376	1,64	10230
0,27	332	0,73	2125	1,19	5465	1,65	10352
0,28	354	0,74	2181	1,20	5555	1,66	10476
0,29	378	0,75	2238	1,21	5646	1,67	10599
0,30	402	0,76	2296	1,22	5737	1,68	10725
0,31	426	0,77	2354	1,23	5829	1,69	10850
0,32	452	0,78	2413	1,24	5921	1,70	10977
0,33	478	0,79	2473	1,25	6015	1,71	11104
0,34	505	0,80	2534	1,26	6109	1,72	11231
0,35	533	0,81	2595	1,27	6205	1,73	11360
0,36	561	0,82	2657	1,28	6300	1,74	11489
0,37	590	0,83	2720	1,29	6396	1,75	11620
0,38	620	0,84	2783	1,30	6493	1,76	11750
0,39	651	0,85	2847	1,31	6591	1,77	11881
0,40	682	0,86	2912	1,32	6680	1,78	12014
0,41	714	0,87	2978	1,33	6789	1,79	12146
0,42	747	0,88	3044	1,34	6889	1,80	12281
0,43	780	0,89	3111	1,35	6990	1,81	12414
0,44	814	0,90	3179	1,36	7091	1,82	12551
0,45	849	0,91	3248	1,37	7193	1,83	12686
0,46	885	0,92	3317	1,38	7296	1,84	12822

Velocidad media = v.....	$\frac{IS}{P}$	Velocidad media = v.....	$\frac{IS}{P}$	Velocidad media = v.....	$\frac{IS}{P}$	Velocidad media = v.....	$\frac{IS}{P}$
1,85	12960	2,14	17257	2,43	22175	2,72	27704
1,86	13097	2,15	17419	2,44	22355	2,73	27906
1,87	13237	2,16	17579	2,45	22536	2,74	28108
1,88	13376	2,17	17740	2,46	22718	2,75	28311
1,89	13516	2,18	17901	2,47	22900	2,76	28515
1,90	13657	2,19	18063	2,48	23084	2,77	28720
1,91	13798	2,20	18226	2,49	23268	2,78	28925
1,92	13941	2,21	18389	2,50	23453	2,79	29131
1,93	14084	2,22	18554	2,51	23638	2,80	29338
1,94	14228	2,23	18719	2,52	23824	2,81	29545
1,95	14375	2,24	18885	2,53	24012	2,82	29754
1,96	14519	2,25	19052	2,54	24199	2,83	29963
1,97	14664	2,26	19218	2,55	24388	2,84	30172
1,98	14811	2,27	19387	2,56	24577	2,85	30383
1,99	14959	2,28	19555	2,57	24768	2,86	30594
2,00	15107	2,29	19725	2,58	24958	2,87	30806
2,01	15257	2,30	19895	2,59	25149	2,88	31018
2,02	15405	2,31	20067	2,60	25340	2,89	31232
2,03	15556	2,32	20238	2,61	25534	2,90	31446
2,04	15707	2,33	20410	2,62	25728	2,91	31661
2,05	15859	2,34	20584	2,63	25922	2,92	31876
2,06	16012	2,35	20757	2,64	26118	2,93	32092
2,07	16165	2,36	20932	2,65	26313	2,94	32309
2,08	16320	2,37	21107	2,66	26509	2,95	32527
2,09	16474	2,38	21284	2,67	26707	2,96	32745
2,10	16630	2,39	21460	2,68	26905	2,97	32965
2,11	16786	2,40	21637	2,69	27104	2,98	33185
2,12	16945	2,41	21816	2,70	27303	2,99	33405
2,13	17101	2,42	21995	2,71	27504	3,00	33627

Fórmula de Tadini. Como resultado de más de sesenta observaciones practicadas en los principales canales de Italia, ha deducido Tadini la fórmula que sigue:

$$0{,}0004\, Q^2 = l^2 h^3 \quad \text{ó} \quad Q = 50\, lh\, \sqrt{h} \qquad (3)$$

en la que l representa la anchura media del canal, h la altura de aguas, y las demás letras tienen la misma significacion que en las fórmulas anteriores.

Siendo S la seccion y V la velocidad media, se tiene tambien:

$$S = lh = \frac{Q}{V} = \frac{Q}{50\sqrt{Ih}}; \qquad V = 50\sqrt{Ih} \quad (4).$$

Por medio de estas fórmulas, y conociendo el volúmen, la pendiente y la altura del agua de un canal, se deducirán fácilmente el área de la seccion y la velocidad media.

Supongamos, por ejemplo, que se quiera conducir por un canal 2 metros cúbicos de agua por segundo, con una pendiente de $0^m,0004$ por metro, y $0^m,64$ de altura de aguas; el ancho en el fondo del canal, si es de seccion rectangular, ó la anchura media, si es trapecial, será

$$l = \frac{Q}{50\,h\sqrt{Ih}} = \frac{2}{50 \times 0{,}64 \times 0{,}8 \times 0{,}02} = 3^m,90.$$

Fórmula de Darcy. Despues de repetidos experimentos hechos en canales de pequeña seccion revestidos de fábrica, dedujo M. Darcy la siguiente fórmula:

$$V^2 = \frac{2hI}{0{,}00025\,(l + 2h)}.$$

Aplicando esta fórmula, por ejemplo, al caso de una seccion trapecial cuyo ancho en la solera y en la cara de aguas sea respectivamente de $2^m,50$ y $4^m,50$ ó bien $l = 3{,}50$, la altura $h = 0{,}80$ y la pendiente $I = 0{,}0008$, tendremos:

$$V = \sqrt{\frac{0{,}00224}{0{,}00128}} = 1^m,325.$$

El área de la seccion trasversal será: $S = 3{,}50 \times 0{,}80 = 2{,}80$ metros cuadrados; y el gasto será, por lo tanto, $Q = S.\,V = 2{,}80 \times 1{,}325 = 3{,}71$ metros cúbicos.

Fórmula de Bazin. Continuando los experimentos y observaciones que habia emprendido M. Darcy, dedujo M. Bazin, y expuso en sus *Recherches hydrauliques*, publicadas en 1865, una nueva fórmula para determinar las condiciones del movimiento del agua en los canales, tomando en

cuenta la notable influencia que la **naturaleza de las paredes y del fondo del canal ejerce en la** velocidad de la corriente.

La expresion general hallada por M. Bazin es la siguiente: $\frac{RI}{V^2} = a + \frac{b}{R}$, en la cual R representa el *radio medio*, ó sea la relacion $\frac{S}{P}$ entre la seccion y el perímetro mojado; I la pendiente; V la velocidad media, y a y b dos factores numéricos que reciben para cada caso valores especiales.

El autor de la fórmula clasifica los canales, respecto á la naturaleza de la superficie interior, en cuatro grupos, en los cuales pueden comprenderse sin inconveniente todos los casos que suelen presentarse en la práctica, y las fórmulas que propone son las siguientes:

1.ª $\frac{RI}{V^2} = 0{,}00015\left(1 + \frac{0{,}03}{R}\right)$ para paredes muy lisas, como las de cemento puro y bruñido, tablas cepilladas con esmero, etc.

2.ª $\frac{RI}{V^2} = 0{,}00019\left(1 + \frac{0{,}07}{R}\right)$ para paredes ménos lisas, como las de piedra labrada, ladrillo, tablones sin cepillar, cemento con mezcla de arena, etc.

3.ª $\frac{RI}{V^2} = 0{,}00024\left(1 + \frac{0{,}25}{R}\right)$ para paredes ásperas, como las de mampostería, sillarejos, etc.

4.ª $\frac{RI}{V^2} = 0{,}00028\left(1 + \frac{1{,}25}{R}\right)$ para paredes de tierra sin revestimiento.

Sea, por ejemplo, determinar el gasto práctico por segundo de un canal de seccion trapecial, en el supuesto de ser sus paredes de tierra sin revestimiento; sus dimensiones (fig. 17) $AD = 4^m{,}50$, $BC = 2{,}50$, $DG = 0{,}80$, y la pendiente de $0^m{,}0008$ por metro.

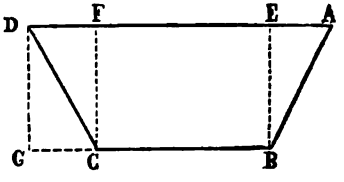


Fig. 17.

La seccion será: $S = \frac{4{,}50 + 2{,}50}{2} \times 0{,}80 = 2{,}80$ metros cuadrados.

El perímetro mojado será:

$$P = BC + 2CD = BC + 2\sqrt{CG^2 + GD^2} = 2{,}50 + 2\sqrt{1 + 0{,}80^2} = 2{,}50 + 2\sqrt{1{,}64} = 2{,}50 + 2 \times 1{,}28 = 5^m{,}06.$$

El radio medio será: $R = \frac{S}{P} = \frac{2{,}80}{5{,}06} = 0{,}55336$.

Sustituyendo el valor deducido para R y el fijado para I en la ecuacion cuarta de Bazin, que es la que corresponde al caso que examinamos, y despejando V, resulta:

$$V = \sqrt{\frac{0{,}000442688}{0{,}000406504}} = 1^m{,}0435 \text{ p. l''}$$

y por consiguiente el gasto será $Q = SV = 2{,}80 \times 1{,}0435 = 2{,}922$ metros cúbicos por segundo.

Fórmula de Kutter. Los Ingenieros suizos MM. Kutter y Ganguillet dedujeron, para el mismo objeto que las anteriores, la fórmula siguiente:

$$\frac{V}{\sqrt{RI}} = \frac{23 + \frac{0{,}00155}{I} + \frac{1}{n}}{1 + \left(23 + \frac{0{,}00155}{I}\right)\frac{n}{\sqrt{R}}},$$

en la cual n es un coeficiente variable cuyos valores son los siguientes:

1.° Para canales de madera perfectamente cepillada, ó de fábrica con enlucido liso de cemento..... $n = 0{,}010$
2.° Para canales cuyas paredes son de tablas sin cepillar..... $n = 0{,}012$
3.° Para canales de sillería ó de mampostería careada bien hecha..... $n = 0{,}013$
4.° Para canales de mampostería ordinaria..... $n = 0{,}017$
5.° Para canales de tierra, y para rios y torrentes..... $n = 0{,}025$
6.° Para cáuces de cantos rodados ó abundantes en plantas acuáticas..... $n = 0{,}030$

Los autores han construido varias tablas con el objeto de facilitar el uso de dichas fórmulas.

Para mayores detalles pueden consultarse las Memorias publicadas en 1869 y 1870 por M. Kutter, y la comunicacion dirigida á la Sociedad de Ingenieros civiles de Francia, leida en sesion de 7 de Abril de 1876, de la cual hace

un extracto la *Revista española de Obras públicas* de 15 de Julio del mismo año.

Como complemento de cuanto llevamos expuesto acerca del movimiento de las aguas por cáuces abiertos, tomamos de la obra *Hydraulique agricole* de M. Nadault de Buffon el siguiente

PROBLEMA. *Dadas las secciones y las pendientes de dos rios, hallar el aumento de nivel que tendrán las aguas en uno de ellos, recibiendo el otro como afluente.*

Por mucho tiempo ha sido este problema motivo de vivas discusiones entre los hidráulicos italianos, los cuales trataban de resolverlo con aplicacion al cálculo del aumento de nivel que adquiririan las aguas en el brazo principal del Pó, que discurre por el N. de Ferrara, admitiendo en su cáuce las aguas del Reno, fijando para ambos rios el caso de una crecida extraordinaria y simultánea.

Segun los datos suministrados por Manfredi, el ancho del cauce del Reno es de $52^m,74$, y la altura de aguas de $4^m,17$. El ancho del Pó en Lagoscuro es de $228^m,37$, y su altura de aguas en las fuertes avenidas de $11^m,38$. Las pendientes de ambos rios son respectivamente para el Reno $I=0,0002458$ y para el Pó $I=0,0000996$.

En rigor habria necesidad de medir exactamente el perímetro de las secciones á fin de deducir la relacion $\frac{IS}{P}$; pero como en los rios cuyo cáuce tiene gran anchura el perímetro mojado es próximamente igual á dicho ancho aumentado del doble de la profundidad, se pueden tomar en este caso para el perímetro del Reno $61^m,08$ y para el del Pó $311^m,13$; de modo que para el Reno $\frac{S}{P}=3,601$ y para el Pó $\frac{S}{P}=10,547$, y finalmente

$$\text{Para el Reno} \ldots\ldots\ldots\ldots \frac{IS}{P} = 0,0008851$$

$$\text{Para el Pó} \ldots\ldots\ldots\ldots \frac{IS}{P} = 0,0010505$$

Segun estos datos, se encuentra por medio de las tablas anteriores que las velocidades medias son:

Para el Reno..... $u = 1^m,52$
Para el Pó..... $u = 1^m,66$

y los gastos ó volúmenes respectivos $Q = 334,28^{m^3}$ y $Q = 5454,10^{m^3}$.

La relacion entre los volúmenes de avenida del Reno y del Pó será, por lo tanto, próximamente de $\frac{1}{16,32}$, y el volúmen adquirido por el Pó en virtud del contingente del Reno será de $5.788,38^{m^3}$.

Para hallar la altura y que representará este volúmen en el cáuce del Pó será preciso, segun Venturoli, resolver la ecuacion de tercer grado siguiente:

$$0,00717\ \frac{Q^2}{2g} + 0,000024\ Qly = \frac{n\, y^3\, I}{1 + 2y}$$

Sustituyendo en ella $Q = 5788,38$, $l = 288,37$, $I = 0,0000996$ y simplificando resultará

$$y^3 - 0,0335\, y^2 - 15,047\, y - 1473,4 = 0$$

que resuelta da como solucion $y = 11,83$, y como la altura primitiva de aguas del Pó era de $11^m,38$, vemos que el aumento de nivel buscado será de $0^m,45$.

Seccion. Cuando se conoce el gasto por 1″ correspondiente al canal y la velocidad media del agua, el área de la seccion trasversal se deducirá de la relacion $S = \frac{Q}{V}$.

Determinada el área de la seccion, ya no queda más que hallar la relacion más conveniente entre los elementos que la constituyen.

La seccion semicircular y la correspondiente á los medios perímetros de los polígonos regulares dan, en igualdad de superficie, ménos perímetro mojado y mayor volúmen de agua por segundo, circunstancias recomendables cuando se trata de fijar la forma de la seccion trasversal de los canales. Las dificultades que estas figuras ofrecen para la construccion impiden, sin embargo, adoptar su uso en la mayoría de los casos.

La forma más comunmente empleada para la seccion de

los canales es la de un trapecio isósceles, cuyos elementos son el talud ó inclinacion de las márgenes, el ancho de la solera y la altura del agua.

Taludes. El talud que convenga adoptar depende del grado de cohesion del terreno, y varia, por lo general, para la porcion de la márgen que no se halla en contacto con las aguas, entre los límites de 1 de base por 1 á 2 de altura.

La inspeccion local de los taludes naturales podrá, en la mayoría de los casos, suministrar los datos suficientes para la determinacion del talud que concilie la estabilidad de las márgenes con la posible economía en el movimiento de tierras.

En la seccion por donde discurren las aguas varian los taludes de 1 ½ á 2 de base por 1 de altura. Si el canal está abierto sobre roca, ó se halla revestido de fábrica, suele darse con frecuencia á la seccion la forma rectangular correspondiente á un talud cero.

Para cada clase de canales hay un mínimo de altura adoptado entre la cara de aguas y la mesilla ó banqueta; en los canales de riego esta altura suele variar entre $0^m,30$ y $0^m,40$.

Relacion entre los elementos de la seccion. Conocida la inclinacion de los taludes, conviene determinar la relacion que debe existir entre el espesor de la masa de agua que ha de conducir el canal y el ancho de éste en el fondo ó solera. Para ello es preciso tener presente: que la explanacion puede ser más costosa cuando el canal tienda al exceso en cualquiera de estas dos dimensiones; que á mayor anchura corresponde mayor superficie evaporante y mayor perímetro mojado, causa retardatriz del movimiento; y que una altura excesiva del nivel del agua produce, por efecto de la mayor carga, un aumento en la intensidad de las filtraciones.

Sobre roca, ó empleándose revestimientos de fábrica, puede aumentarse la altura del agua hasta igualar el ancho de la seccion; en los demás casos se suele fijar como altura máxima la mitad del ancho de la solera, tipo que se modi-

fica, sin embargo, atendiendo á la magnitud de la seccion y á las condiciones del terreno.

La fórmula que da el área de la seccion en funcion del ancho de la solera, del talud y de la altura del agua es $S = ah + n_1 h^2$ en la cual a representa el ancho de la solera, h la carga ó altura del agua, y n_1 la relacion entre la base y la altura del talud, fórmula que se deduce fácilmente de la figura 17.

En efecto: área $ABCD = ar.\ BCFE + ar.\ ABE + ar.\ FCD = ar.\ BCFE + 2\ ar.\ ABE = BC \times BE + 2\ .\ AE \times \frac{BE}{2} = BC \times BE + \frac{AE}{BE}\ .\ \times \overline{BE}^2$ y sustituyendo en vez de BC su valor a, en vez de BE el suyo h y en lugar de $\frac{AE}{BE}$ su valor n_1 tendremos:

$$S = ah + n_1 h^2.$$

$$\text{Si } a \begin{cases} = 4h \ldots\ldots\ S = h^2(4 + n_1) \ldots\ldots\ h = \sqrt{\frac{S}{4 + n_1}} \\ = 5h \ldots\ldots\ S = h^2(5 + n_1) \ldots\ldots\ h = \sqrt{\frac{S}{5 + n_1}} \\ = 6h \ldots\ldots\ S = h^2(6 + n_1) \ldots\ldots\ h = \sqrt{\frac{S}{6 + n_1}} \end{cases}$$

Conocidas la anchura de la solera y la profundidad de un canal, se deduce fácilmente el perímetro mojado P por medio de la fórmula siguiente, en que b_1 representa la base del talud

$$P = a + 2\sqrt{h^2 + b_1^2}.$$

Esta fórmula puede sustituirse en la práctica por las siguientes:

para $n_1 = 0{,}00 \ldots\ldots\ldots\ldots\ P = a + 2h$
» $n_1 = 0{,}50 \ldots\ldots\ldots\ldots\ P = a + 2{,}33\,h$
» $n_1 = 1{,}00 \ldots\ldots\ldots\ldots\ P = a + 2{,}83\,h$
» $n_1 = 2 \ldots\ldots\ldots\ldots\ P = a + 4{,}47\,h.$

Modificaciones que puede experimentar la seccion. Cuando el canal pase por un terreno de roca situado en una ladera, puede disminuirse la seccion para un gasto dado, mediante un aumento en la pendiente; de una manera aná-

loga puede procederse, atendiendo tambien á consideraciones económicas, para el paso del canal por puentes, acueductos, túneles, sifones, ó por grandes trincheras.

Desde luégo se comprende que á medida que los canales principales vayan cediendo sus aguas á los de distribucion, y éstos á los brazales ó acequias de riego, convendrá disminuir la seccion ó la pendiente, y que el primer medio equivaldrá, por lo general, á una economía en el movimiento de las tierras.

Curvas. En el trazado de los grandes canales las curvas no deberán tener, en general, un radio menor de 80 metros, y por lo comun será dicho radio mayor de 150. Para los canales secundarios bastarán las más de las veces curvas de 30 á 50 metros de radio en terrenos poco consistentes; de 20 á 30 en tierra dura, y de 8 á 10 cuando se empleen los revestimientos de fábrica.

La gran amplitud de las curvas ocasiona crecidos gastos en la apertura del canal cuando el terreno es ondulado; en este caso, con el objeto de evitar grandes y continuos desmontes, terraplenes y puentes, convendrá ceñir en lo posible la línea del canal á las desigualdades del suelo.

Pérdidas de agua por evaporacion y filtracion. Estas pérdidas no pueden apreciarse *á priori* al hacer el proyecto de un canal de riego, puesto que varian para cada caso particular: las primeras segun el clima y la extension de la superficie evaporante, y las segundas segun la naturaleza del terreno, la carga, la pendiente, la longitud del cáuce, etcétera.

Una vez fijado el desarrollo de los canales y acequias, y la extension de su superficie evaporante, las observaciones meteorológicas locales, si existen, podrán dar la medida de las pérdidas por evaporacion para un tiempo dado.

Los autores suelen englobar en una sola cifra las pérdidas de agua por los dos conceptos ántes expresados.

Para el canal de Langüedoc las calculó Venturoli en 0,50 milímetros por dia; Sganzin supone que estas pérdidas son

por término medio de 6 centímetros; Minard, descontando los aumentos por las lluvias, opina que deben apreciarse en 2,2 milímetros; Nadault de Buffon y Vignotti suponen, en virtud del gasto calculado y el observado en los canales Naviglio grande, Martessana y Muzza de Lombardía, que las pérdidas por evaporacion, absorcion y filtracion, ascienden por término medio á un 15 por 100.

El Ingeniero español Sr. de Ribera, en su Memoria sobre el riego de los campos de Madrid, deduce de los resultados de sus observaciones, que las pérdidas por evaporacion y filtracion no exceden de un 2 por 100 de la dotacion de las acequias. A pesar de la gran diversidad de los resultados que necesariamente han de dar las distintas observaciones, el tipo más generalmente admitido es el de un 10 por 100.

CAPÍTULO IX.

CANALES.—ESTUDIOS SOBRE EL TERRENO.—PROYECTOS.

Reconocimientos. Al tratar de proceder al estudio de un canal de riego, la primera operacion que hay que practicar consiste en un exámen detenido de las circunstancias particulares del terreno, y del régimen y condiciones del rio que ha de suministrar las aguas. Antes de fijar la superficie regable es necesario conocer el volúmen de agua de que se dispone, y para ello convendrá adquirir el mayor número posible de noticias respecto al régimen del rio, y á todas las circunstancias que puedan contribuir á formar juicio de la hidrologia de su cuenca.

Determinado el gasto del rio en el período de estiaje mediante el suficiente número de operaciones de aforo practicadas en el sitio conveniente, y adquiridas las noticias indispensables sobre el régimen de la corriente en las varias estaciones, sobre la frecuencia é intensidad de las crecidas extraordinarias y sobre los derechos adquiridos por aprovechamientos que puedan afectar al que se pretenda establecer, hay que proceder, mediante el exámen del rio, á la eleccion de un punto ventajoso y suficientemente elevado para el establecimiento de la toma de aguas.

Situacion de la presa. Raras veces puede tomarse aguas de un rio para riegos de alguna importancia sin la previa construccion de una presa ó dique trasversal que, remansando la corriente, eleve su nivel; puesto que sin este

auxiliar serian por lo general escasas las aguas que pudieran recogerse durante el período de estiaje.

La eleccion del sitio donde convenga establecer el remanso para un aprovechamiento de alguna importancia constituye un problema delicado, para cuya resolucion es necesario el concurso de varias causas y una atencion diligente por parte del director facultativo. En términos generales puede decirse que convendrá construir la presa en un sitio suficientemente elevado para que, con el menor coste posible, se puedan llevar las líneas de conduccion y distribucion principales por los terrenos más altos, con objeto de que alcance el riego á la mayor extension susceptible de ser beneficiada con el volúmen de aguas que se deriva.

Condiciones á que debe satisfacer la situacion de la presa. Si se ha fijado de antemano la zona á que debe aplicarse el riego, el mejor medio de determinar la situacion conveniente de la presa consiste en fijar una pendiente general y buscar por medio de nivelaciones preparatorias el punto del rio en que la solera del *bocal* ú orígen de la línea principal de conduccion, pueda estar por bajo del nivel de estiaje en la medida suficiente para que, áun en bajas aguas, pueda quedar el canal convenientemente alimentado.

Conocido el punto del rio que reuna las condiciones de nivel indispensables, será conveniente tomar en cuenta varias circunstancias ántes de decidirse por la situacion definitiva de la presa.

La primera condicion á que el sitio en que ésta se construya tiene que satisfacer es el de la invariabilidad del lecho del rio. Convendrá para ello que las márgenes sean firmes y elevadas, que su curso ofrezca cierta regularidad en el suficiente trayecto de aguas arriba, y que no existan recodos que faciliten el cambio de direccion del thalweg ó vaguada.

Otra de las circunstancias que deben tomarse en cuenta es la anchura del cáuce. La construccion de la presa en un punto en que el cáuce ofrezca un ensanchamiento reunirá, en general, mayores ventajas que si tuviera lugar en un si-

tio demasiado estrecho; porque, si bien en este último caso tendrá el muro menor desarrollo, habrá que darle en cambio mayor altura y un grueso más considerable.

La mayor altura de la presa dificulta el paso de las aguas durante las crecidas, y como por efecto de la menor seccion vienen aquéllas animadas de mayor velocidad, tienden á abrirse paso por una de las márgenes, si éstas no poseen las suficientes condiciones de resistencia, y hacen más inminente la destruccion de la presa, tanto por la accion del choque contra el paramento de frente, como por las socavaciones que se producen al pié del paramento posterior por efecto de la caida de las aguas desde la coronacion del muro. La necesidad de elevar la presa en un estrechamiento del cáuce puede tambien en algunos casos exponer á ser inundados en aguas medias y altas los terrenos limítrofes, que tal vez sin esta circunstancia estuvieran al abrigo de tales perjuicios.

Las condiciones de impermeabilidad del suelo y de resistencia de las márgenes podrán tener mucha importancia en ciertos casos para el debido aprovechamiento de las aguas y para la solidez de las construcciones. Bajo el punto de vista económico deberá asimismo tenerse en cuenta el valor de los terrenos que se destinen al embalse.

Las indicaciones generales que preceden, y las especiales para cada caso particular, permitirán elegir con acierto el sitio conveniente para la construccion de la presa, cuando se trate de derivaciones de alguna importancia. En los proyectos que tengan por objeto pequeños aprovechamientos, las circunstancias especiales respectivas determinarán cuáles sean los requisitos de que se pueda prescindir.

Operaciones previas al trazado del eje del canal. La observacion atenta del terreno donde el canal se proyecta permite á un observador inteligente formar un juicio de conjunto acerca de la distribucion grosera de las pendientes, y fijar á la vista los puntos principales por donde deban llevarse las aguas.

Señalado en un mapa de la localidad, cuando exista, ó en un ligero croquis, en su defecto, el punto de orígen y el término de la línea, se marcan los puntos principales por donde, en vista de la configuracion general del terreno, parezca más conveniente el trazado de aquella. Trazada esta línea provisional, ó marcadas otras, si en la eleccion existen dudas, se levantan perfiles longitudinales por medio de largas niveladas, con objeto de asegurarse de la posibilidad de la línea proyectada. A estas nivelaciones en sentido longitudinal deben acompañar algunos perfiles trasversales, especialmente en las divisorias y vaguadas que se encuentren al paso, cuyos perfiles permitirán formar juicio de las ventajas que se obtengan bajando ó subiendo la línea que se proyecta.

Es evidente que si se poseyese un plano general del terreno, acotado por curvas de nivel, el trazado del canal quedaria casi reducido á un simple trabajo de gabinete. La falta de este plano se suple con el perfil longitudinal y con el suficiente número de perfiles trasversales, tanto más próximos entre sí, cuanto más accidentado sea el terreno.

Las primeras nivelaciones provisionales podrán sentar las bases de un anteproyecto que tenga por objeto deducir la posibilidad de abrir el canal segun la línea propuesta, y dar una idea general de los grandes desmontes, terraplenes y obras de fábrica que hayan de ejecutarse.

Corregida por este medio la línea del trazado que se dedujo por simple inspeccion local, se procede al levantamiento y nivelacion de la nueva línea. En cada uno de los vértices se fija un mojon numerado; en los puntos convenientes de la nivelacion longitudinal se determinan perfiles trasversales en direccion normal al eje, prolongándolos lo suficiente para que pueda variar entre los límites necesarios la línea definitiva. Fijada ésta, se distribuyen las pendientes de acuerdo con las prescripciones generales que en el capítulo anterior hemos expuesto, y se enlazan en el plano las alineaciones angulares por medio de curvas, para cuyos

radios se tendrán presentes las prescripciones en el mismo establecidas.

Los perfiles definitivos y las sondas abiertas en los puntos convenientes del terreno, cuando no baste la simple inspeccion superficial, completarán las nociones previas al trazado del eje de la solera, y al cálculo de desmontes y terraplenes.

Trazado de las acequias secundarias. Las operaciones y tanteos que haya que practicar para la determinacion del eje de la solera, van disminuyendo en número é importancia á medida que se desciende del estudio de la línea principal á las derivaciones de un órden secundario.

Trazado de las curvas sobre el terreno. Las curvas de union de dos alineaciones son generalmente circulares, y ya hemos indicado en otro lugar entre qué límites debe variar su radio. Cuando éste tiene poca longitud, puede trazarse el arco tangente á las dos alineaciones por medio de una cuerda. Si el terreno es algo accidentado ó el radio de la curva de gran longitud, pueden seguirse varios procedimientos que no detallaremos, y para cuyo estudio pueden consultarse el tratado sobre la construccion de los proyectos de carreteras del Ingeniero D. Mauricio Garran y las tablas publicadas por distintos Ingenieros españoles y extranjeros.

Rasantes. Para el trazado de las rasantes debe atenderse á las condiciones siguientes:

1.ª A la mayor economía posible; y para ello se adaptarán las rasantes á las ondulaciones del terreno en la medida posible, á fin de disminuir el movimiento de tierras.

2.ª A que en lo posible se compensen los desmontes y los terraplenes.

3.ª A que su direccion y pendiente favorezcan la conveniente circulacion del agua.

Determinadas las pendientes, se pasa al cálculo de las alturas ó cotas de las rasantes correspondientes á cada ordenada del perfil, y se refieren al mismo plano de comparacion que éste. Estas cotas, que se suelen señalar con tinta azul,

llamándose por esta razon *cotas azules,* pertenecen á la línea del proyecto, así como las *cotas negras*, que se indican con este color, pertenecen al terreno natural; las *cotas rojas* vienen dadas por la diferencia entre las negras y las azules.

Desmontes y terraplenes. Ya hemos indicado que en el trazado del eje del canal debe procurarse que aquél se pliegue todo lo posible á las ondulaciones del terreno, á fin de conseguir la mayor economía en el movimiento de tierras y en las obras de fábrica. Convendrá asimismo llevar el eje de modo que resulte compensacion entre los desmontes y terraplenes próximos, para evitar las excavaciones y los depósitos de tierra, ó los *préstamos* y *caballeros*, que de otra manera tendrian que hacerse á los costados de la línea, y que, desigualando el terreno, dificultarian el establecimiento del riego y podrian formar charcas pantanosas nocivas á la salud pública.

Para la fijacion de los desmontes y terraplenes habrá que distinguir la seccion correspondiente al cajero del canal, de la que depende de la configuracion del suelo. Acerca de la primera, ya hemos dicho qué relaciones existen entre sus elementos, segun la cantidad de agua que deba conducir el canal, la velocidad de ésta, la pendiente de la solera, la resistencia que ofrecen á la erosion y á las filtraciones las márgenes y el fondo, etc.

No entraremos en detalles acerca de la cubicacion de los desmontes y terraplenes, para lo cual podrán consultarse la citada obra del Sr. Garran, el formulario del constructor del Sr. de la Bárcena, ó el tratado de construccion del señor Rebolledo.

Banqueta ó mesilla. En ambos costados del canal, y en su parte superior, suelen practicarse explanaciones denominadas *banquetas* ó *mesillas*, que sirven, en los terraplenes, para formar la caja del canal y darle consistencia; en los desmontes, para impedir que caigan al agua los desprendimientos de los taludes superiores; y en ambos casos, para el paso de los guardas y el servicio de los riegos. Suele darse á

estas banquetas el ancho de 1 metro á $1^m,50$. En la huerta de Murcia el ancho de la banqueta es de 15 palmos en las acequias mayores, de 10 en las menores, de 5 en los brazales y de 3 en las regaderas.

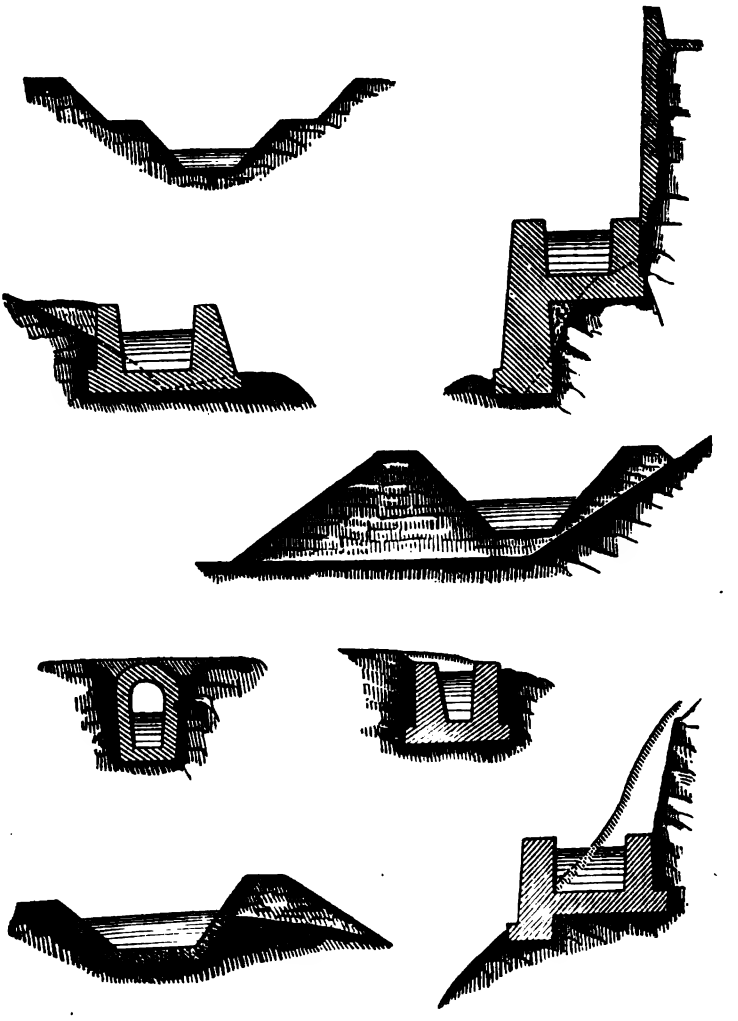
Bermas. Cuando la solera del canal se encuentre á una profundidad que no exceda de 4 ó 5 metros respecto al nivel del suelo, los taludes del desmonte se hallan repectivamente constituidos por un sólo plano de inclinacion adecuada á la coherencia de las tierras. Siendo la profundidad mayor, los desmontes se convierten en verdaderas trincheras, y su perfil, conservando el mismo talud, ofrece retallos sucesivos ó *bermas* de $0^m,40$ á $0^m,50$ de ancho, destinados á contener el desmoronamiento y la caida de las tierras en el fondo del canal.

Cunetas. Para desviar las aguas pluviales suelen abrirse cunetas en la parte superior del terreno junto á los bordes de la excavacion, ó en la parte baja junto á las banquetas, y se da á dichas cunetas la capacidad proporcionada á la cantidad de agua que tengan que recoger.

Trazado de las secciones en desmonte y terraplen. El trazado de las secciones en desmonte y terraplen se ejecuta en los respectivos perfiles, tomando en cuenta la posicion y cota del punto correspondiente al eje de la solera, la naturaleza de la seccion conveniente al cajero, y los taludes exteriores adecuados á la consistencia del terreno sobre el cual se ha trazado el perfil.

Las figuras 18 á 32 representan una serie de perfiles del canal de Marsella y de sus brazales, y de un canal proyectado en el Hérault, é indican casi todas las disposiciones que pueden adoptarse en la práctica, segun las diferentes posiciones del eje y la naturaleza y accidentes del terreno.

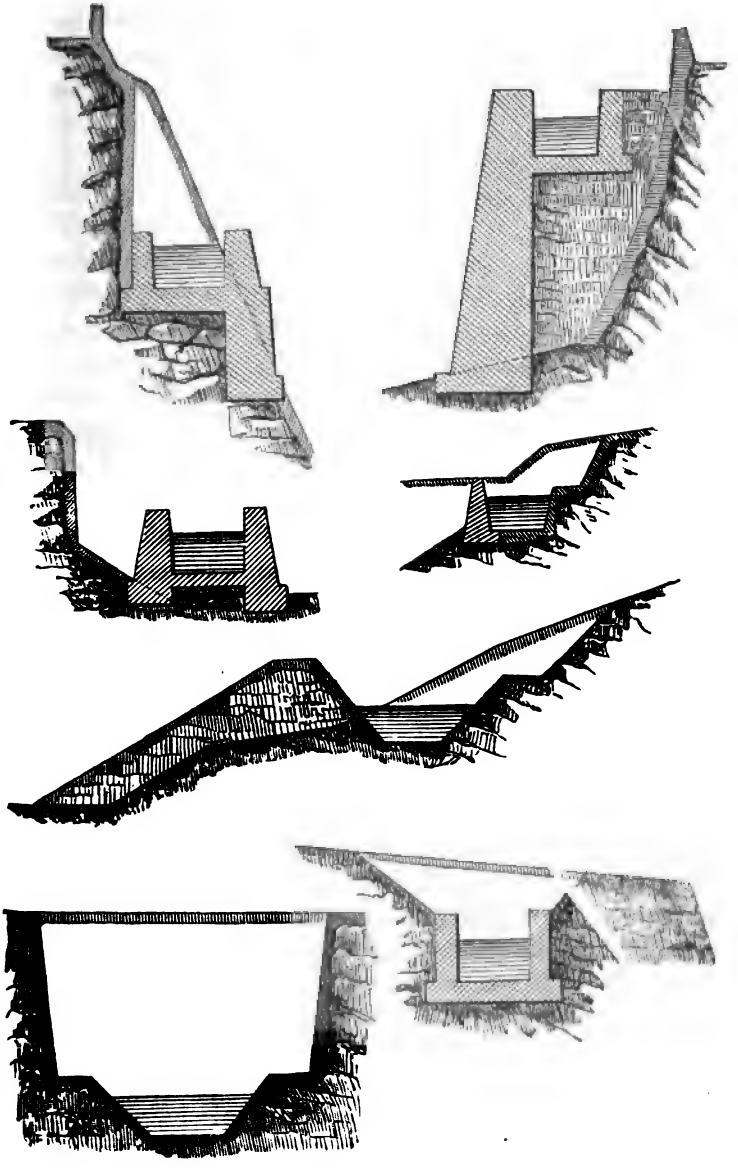
Ligero exámen de las partes que componen el canal. Dejando para el ligero estudio sobre las obras de fábrica con aplicacion á los canales de riego, que haremos más adelante, la parte relativa á presas, y con el objeto de evitar repeticiones, entraremos desde luégo en la exposicion



Figs. 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24 y 25.

de algunas consideraciones generales sobre las partes constitutivas de un sistema completo y general de riegos por medio de canales.

Bocal. La toma de aguas de un canal de riego puede efectuarse, ya comunicando directamenta el canal con el rio,



Figs. 26, 27, 28, 29, 30, 31 y 32.

ó ya indirectamente, por medio de vertederos de fábrica ó de compuertas con desagüe de fondo ó de superficie. Este segundo método es preferible, porque permite dar al canal la cantidad de agua que se juzgue conveniente, y permite además aislarlo en el caso de fuertes avenidas.

Si la toma de aguas se efectuase en un rio no sujeto á aprovechamientos ni á reglamentacion alguna, no habria necesidad de fijar una atencion preferente en el resíduo que quedase despues de la derivacion; pero haciéndose las concesiones por volúmenes fijos, y teniendo que respetarse los derechos adquiridos por virtud de concesiones anteriores, y que someter á un régimen el aprovechamiento de las aguas, con objeto de que no se destine á cada servicio más que el volúmen necesario, es indispensable sujetar á medida el gasto del canal. Para ello es preciso que su seccion y pendiente estén regularizadas en una longitud suficiente, á fin de que con el auxilio de las fórmulas oportunas pueda determinarse el volúmen de agua que se le haya asignado por segundo.

Forma y direccion del bocal. La entrada de un canal en la toma de aguas se hace casi siempre abocardada hacia el rio, áun en el caso en que, no siendo navegable, no tenga por objeto facilitar la entrada de los buques. La direccion del bocal varía segun los casos; pero generalmente forma un ángulo agudo con la corriente, aguas abajo del punto donde se construye la presa. Si en la toma de aguas no se usan compuertas, es de la mayor utilidad la formacion de un acueducto cubierto, cuando el terreno y la importancia de la derivacion lo permitan, con lo cual se evita una gran parte de los perjuicios que ocasionan las grandes crecidas.

Canal de conduccion. Ya hemos dicho cuál es su objeto. Las más de las veces no atraviesa zona alguna regable, por cuya razon suele llevársele próximo al rio, y por túneles y profundas trincheras, si la disposicion del terreno lo exige. En el trazado de esta parte de la obra sólo habrá que atender en general á las condiciones de solidez y economía.

Canales secundarios. Estas ramificaciones del canal principal, cuyo objeto es, segun hemos dicho, distribuir las aguas entre las principales zonas de riego, tendrán la importancia relativa al caudal que tengan que conducir. En su trazado convendrá en general evitar, aún más que en los canales principales, la necesidad de construir obras de fábrica de mucho coste.

Los canales secundarios tienen en su orígen esclusas de compuertas para la toma de aguas, y en ciertos casos las hay tambien distribuidas por su curso, con objeto de detener el agua y obligarla á que fluya por las acequias ó brazales de distribucion.

Acequias y brazales. En estas pequeñas derivaciones convendrá por lo general disminuir la pendiente en vez de la seccion, á medida que las aguas se vayan empleando en el riego. Si la naturaleza del suelo se opone á ello, podrán disponerse series de pequeños saltos, los cuales llevan á los grandes la ventaja de no exigir costosas obras de arte.

Canales de descarga y almenaras de desagüe. Tienen por objeto, como ya hemos dicho, facilitar la descarga de los canales de conduccion y derivacion durante las crecidas extraordinarias, y hacer más expedito el desagüe por tramos para las operaciones periódicas de la limpia. El desagüe puede ser de superficie ó de fondo, segun los casos. Esta clase de acequias, que se disponen de trecho en trecho y en los sitos convenientes, deben recorrer el menor trayecto posible hasta llegar á su desembocadura en las cañadas, en los arroyos, ó en el mismo rio, para lo cual se les puede dar toda la pendiente que permita la resistencia que pueden ofrecer á la erosion los terrenos en que se abran.

Al objeto de facilitar la limpia de los canales por tramos independientes unos de otros, suelen disponerse en el cajero, y á poca distancia aguas abajo de las almenaras, unas ranuras que sirven de apoyo á un dique provisional formado de viguetas y tablas; ántes de llegar al portillo de desagüe

se aumenta la pendiente de la solera, y se dispone en contrapendiente la porcion de aguas abajo.

Azarbes ó coladores. Ya hemos dicho que tienen por objeto recoger las aguas sobrantes del riego y facilitar su desagüe, con el fin de evitar el estancamiento y sus perniciosos efectos. Así como los canales y acequias de riego deben, en general, recorrer los puntos más elevados que sea posible, con el fin de que se encuentren en aptitud de verter las aguas hacia dos laderas opuestas de una misma colina, por ejemplo, los azarbes, cuyo objeto es precisamente contrario, deberán situarse en las líneas de reunion de aguas. Si las aguas de los azarbes no se aplican directamente al riego, puede darse á éstos la pendiente adecuada á su más fácil desagüe.

En la huerta de Murcia, las aguas del sistema colector constituido, segun hemos indicado, por los tres órdenes de ramificacion respectivamente llamados escorredores, azarbetas y azarbes ó landronas, dan orígen al aprovechamiento que se llama de *aguas muertas*, por cuya virtud las aguas sobrantes de los riegos superiores se distribuyen de nuevo y de una manera directa en los inferiores.

El ancho de la banqueta en los escorredores es de 3 palmos, de 5 en las azarbetas y de 10 en los azarbes, ancho cuya invariabilidad previenen las respectivas ordenanzas, con objeto de que se pueda depositar en ellas provisionalmente el barro de las mondas y limpias, y de facilitar el paso para el servicio de los riegos.

Observaciones generales. Las partes constitutivas de un sistema general de riegos por medio de canales, cuyo ligero exámen acabamos de hacer, podrán coexistir en la disposicion y con las funciones respectivas indicadas, ó bien podrá faltar alguna de ellas, segun la índole especial del proyecto. El canal de conduccion podrá, por ejemplo, desempeñar á la vez las funciones de acequia de distribucion, y las almenaras de desagüe podrán combinarse con los escorredores, de modo que sea difícil establecer la debida sepa-

racion entre unas y otras líneas. Indicado el objeto de cada una, ejercerán una influencia decisiva en la eleccion del sistema distributivo y colector la configuracion especial del terreno, la importancia del aprovechamiento, y la necesidad de llenar el objeto propuesto con la mayor economía posible.

CAPITULO X.

CANALES.—OBRAS DE ARTE.

Presas. Las presas que tienen por objeto la derivacion de una cierta cantidad de agua de un rio ó de un arroyo para el abastecimiento de un canal ó de una acequia de riego, ofrecen una importancia muy variable, segun sean las condiciones de la corriente que remansen y la entidad del aprovechamiento que faciliten. Desde los arroyuelos de escasa anchura y corto caudal hasta los grandes rios, desde las pequeñas derivaciones para el riego de una corta superficie hasta las que se destinan al beneficio de extensas zonas, cabe una latitud inmensa en el estudio de los medios que deban ponerse en práctica para la realizacion del objeto á que las presas se dedican.

En el capítulo anterior hemos tratado incidentalmente de esta clase de obras, tan sólo bajo el punto de vista de su situacion más conveniente, considerándolas como orígen de un sistema destinado á la conduccion y distribucion de las aguas desviadas de su curso natural para ser aplicadas al riego.

Vamos á hacer ahora un ligero estudio de las presas en particular, sin entrar en ciertos detalles de ejecucion, por ser estos más propios de un tratado especial de construccion de esta clase de obras.

Indicadas las condiciones generales á que debe satisfacer la situacion de una presa, examinaremos: 1.° Su direccion y planta convenientes. 2.° Su altura. 3.° Su perfil.

Y 4.° Su construccion y la naturaleza de los materiales que en la misma se empleen.

Forma y direccion de la presa. La forma que hay que dar á una presa la determinan muchas veces los accidentes naturales del terreno; así es, que puede estar formada por un solo muro recto, por una línea poligonal con su convexidad en sentido contrario á la corriente, ó tener una traza curvilínea, constituida por uno ó varios arcos de círculo, generalmente de 60 grados. Como ejemplo de traza recta podemos citar la de la presa de la Llenguadera del canal de Urgel; como poligonal, la de Antella de la acequia Real del Júcar y la *Parada* de los canales de Murcia; y como curva en arcos de círculo, la presa del canal del Henares.

Las condiciones de economía y de resistencia decidirán en cada caso acerca de la forma más conveniente de la traza: así, por ejemplo, la forma circular con su convexidad en sentido contrario á la corriente posee mejores condiciones de resistencia que las demás, cuando los estribos naturales son enérgicos; pero no sucede lo mismo en lo que se refiere á las condiciones económicas, por el mayor desarrollo que hay que dar al muro, y por la mayor dificultad de su construccion, á causa del aparejo de las piedras, segun líneas curvas.

Cuando el muro de presa ofrece una sola alineacion puede ésta disponerse normal ú oblícuamente á la direccion de las aguas. La disposicion de la presa en sentido normal á la corriente ofrece la ventaja del menor desarrollo que exige el muro para una misma seccion del cáuce; pero en cambio tiene el inconveniente de producir mayores socavaciones por efecto de la caida de las aguas desde la coronacion de dicho muro. Cuando se da á la traza una forma poligonal suelen adoptarse para la misma ángulos muy abiertos.

Altura de la presa. Determina la altura de una presa la elevacion que hay que dar al remanso para el abastecimiento del canal durante el período de estiaje. La experiencia ha demostrado que la solidez de la construccion, conci-

liable con la economía en el presupuesto de la obra, no permite, por lo general, dar á la presa una altura mayor de 2 metros á $2^{m},50$ sobre el nivel de estiaje. En la mayoría de las presas construidas en los rios para la alimentacion de los canales de riego dicha altura no suele exceder de un metro. A ménos de ofrecerse grandes inconvenientes, sería preferible á la elevacion excesiva del muro su cambio de situacion, construyéndolo á la distancia conveniente aguas arriba, con objeto de poder bajar el fondo de la solera en la toma de aguas, en vez de tener que aumentar desmesuradamente la altura del remanso.

Perfil trasversal. El perfil trasversal asignable á las presas depende de una multitud de circunstancias, y particularmente del régimen del rio, de la altura del remanso, de los materiales que se empleen en la construccion, de la naturaleza del terreno sobre que descansa, y de que las aguas sobrantes viertan ó no por la coronacion del muro.

Pueden construirse las presas con sus dos paramentos verticales cuando, empleando materiales convenientes, sea el terreno resistente y no ofrezcan peligro las socavaciones. Aun en este caso será, sin embargo, conveniente defender por medio de escolleras ó con un zampeado de fábrica el pié del muro en el paramento de aguas abajo.

Suelen tambien disponerse los muros en doble talud, uno en el paramento de aguas arriba para disminuir la accion del choque de los cuerpos flotantes, ó de los grandes arrastres en casos de crecida, y otro posterior para amortiguar la velocidad de caida de las aguas y las consiguientes socavaciones. Estos taludes pueden ser continuos desde la coronacion del muro hasta su pié, ó pueden servir de enlace á los retallos que se establezcan á distintas alturas en el paramento posterior, con objeto de disminuir el cubo de fábrica. En uno y otro caso suele darse á estos taludes poca inclinacion, generalmente de 3 á 6 de base por uno de altura.

Los perfiles curvos ofrecen el inconveniente de exigir un mayor gasto en la mano de obra.

Construccion de la presa. El sistema de construccion de la presa y la naturaleza de los materiales que en ella se empleen, dependerán de la importancia del proyecto, de las condiciones particulares del rio ó arroyo de donde se deriven las aguas, y del sitio que para el establecimiento de la presa se elija.

Tratándose de pequeños aprovechamientos de aguas en la parte baja de los arroyos de escasa pendiente, pueden construirse presas ligeras, económicas y de fácil reparacion, por medio de estacas y mimbres ó bardagueras con relleno de tierra apisonada, de pilotaje y relleno de piedra, de pilotaje y tablestacado, etc.

En sitios en que el cáuce ofrezca poca anchura y bastante fondo, pueden ponerse obstáculos al paso del agua, que produzcan un remanso, aprovechando los accidentes del terreno, por medio de diques constituidos por peñascos y grandes troncos, los cuales, aunque experimenten averias por las avenidas, pueden repararse fácilmente. Este sistema grosero de formacion del remanso podrá tener aplicacion en las torrenteras de los países montañosos.

Tratándose ya de aprovechamientos considerables y de rios de alguna importancia, habrá necesidad de proceder á la construccion de muros con todas las reglas exigidas para una buena construccion hidráulica, y dotados de condiciones de resistencia adecuadas al carácter é intensidad de los esfuerzos á que deben hallarse sometidos.

Las figuras 33, 34 y 35, 36, 37, 38 y 39 representan varios modelos de presas, cuyo dibujo indica suficientemente el sistema de construccion empleado.

En la obra de M. Aymard, páginas 206 á 210 y lámina X, pueden estudiarse los detalles de la presa notable ejecutada por los árabes para el aprovechamiento de las aguas del rio Segura en las vegas de Murcia y Orihuela. Pueden tambien estudiarse detalles de construccion de algunas presas notables, construidas modernamente, en el *Manual de canales de riego* publicado por el Ayudante de Obras públicas D. Maria-

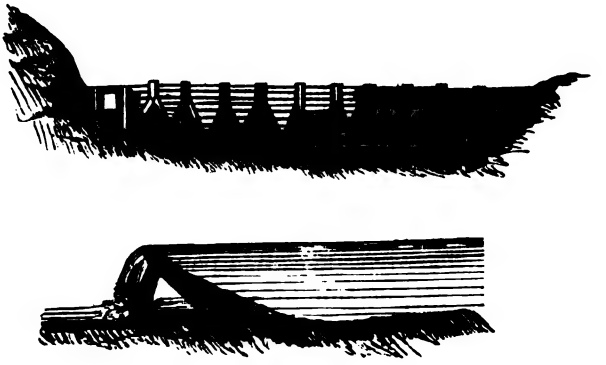
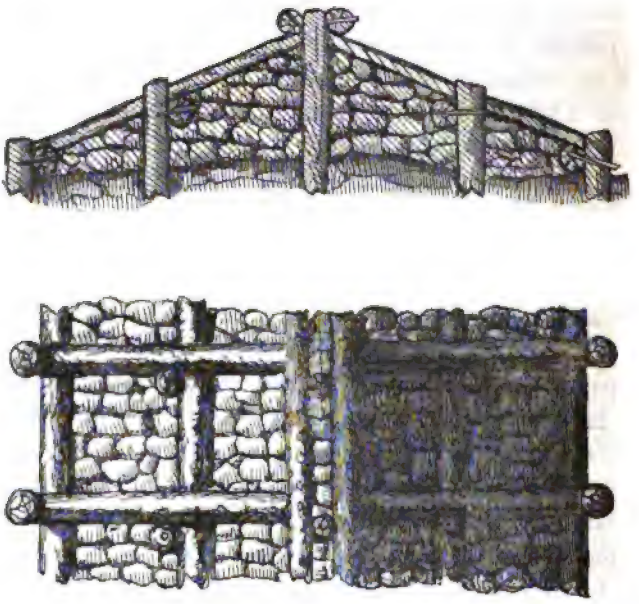


Fig. 33.



Figs. 34 y 35.—Corte trasversal.

no Riera y Parera, y en la *Hidráulica agrícola* de M. Nadault de Buffon.

Toma de aguas. Desde luégo se comprende que, segun sean la importancia de la corriente y el caudal de aguas que haya de derivar, podrá ocurrir el caso de tener que hacer un

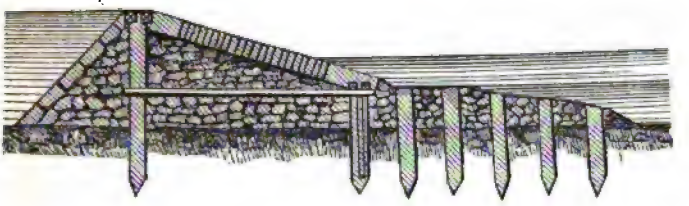


Fig. 36.

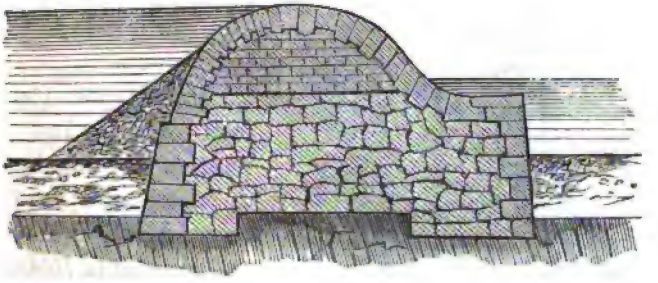


Fig. 37.

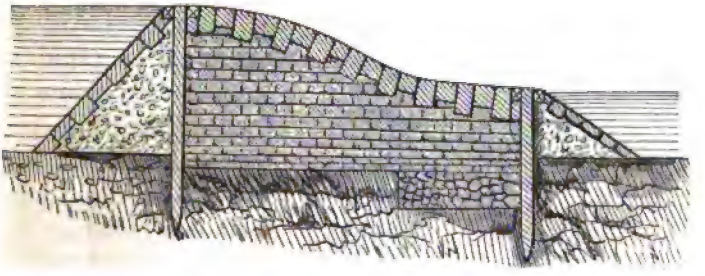


Fig 38.

estudio del número y dimensiones de las aberturas que convenga practicar en la presa para la descarga del remanso en los momentos de fuertes avenidas; y que para ello habrá que atender á la altura que se dé á la presa con relacion al máximo nivel del agua en las crecidas, y á que ésta vierta por toda la coronacion del dique ó sólo por una parte. En aguas ordinarias puede regularizarse el gasto del canal por medio de compuertas establecidas en el bocal y en las aberturas practicadas en la presa.

Los sistemas que con más frecuencia hemos visto empleados, lo mismo en España que en el Mediodía de Francia, para la maniobra de las compuertas, consisten en un husillo vertical que sujeta la compuerta por su punto medio y una tuerca fija en el muro y á la cual se da un movimiento de rotacion por medio de fuertes palancas.

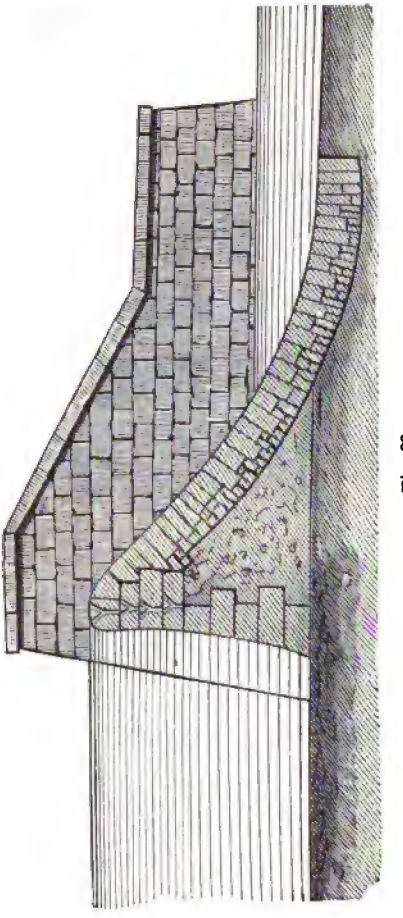


Fig. 39.

Una disposicion análoga ofrecen las compuertas de toma de aguas de los canales de Italia, cuyos detalles pueden estudiarse en la *Hidráulica agrícola* de M. Nadault de Buffon. En los casos en que no es indispensable una gran rapidez en la maniobra, hemos visto usada la misma tuerca formando cuerpo con una rueda de ángulo engranada con otra movida directamente por medio de un manubrio. Hemos visto tambien sustituido el husillo medio por dos barras dentadas que sujetan la compuerta por sus extremos, las cuales forman cremallera con un sistema de ruedas dentadas movidas por un tornillo sin fin.

Este último mecanismo, que hemos visto empleado en el rio Ter para la toma de aguas de la acequia Monar, ofrece el medio de vencer con un pequeño esfuerzo una gran resisten-

cia, si bien, como lógicamente se deduce, verificándose en cambio el movimiento de alza con una lentitud proporcionada al mayor esfuerzo vencido.

Ocurre con frecuencia, y especialmente en los rios de carácter torrencial, que el envase formado por la presa se va rellenando rápidamente con los aluviones arrastrados por las aguas hasta enrasar el depósito de acarreos con la coronacion misma de la presa. En este caso, hallándose la solera del bocal á un nivel inferior al de la coronacion de la presa, corre grave riesgo de cegarse ó cuando ménos de imposibilitar la maniobra de las compuertas si por una causa cualquiera hay necesidad de interrumpir la comunicacion del canal con el rio.

Hemos visto realizarse este fenómeno en la toma de aguas del canal de Urgel. El inteligente Ingeniero Sr. Cardenal ha salvado este grave inconveniente dejando constantemente abiertas las compuertas establecidas en la boca de entrada del túnel de la Llenguadera, junto á la presa, estableciendo compuertas de descarga en la extremidad de dicho túnel, que vierten las aguas sobrantes al rio, y construyendo á continuacion el verdadero bocal con su casa de compuertas, con lo cual ha conseguido además dejar el canal enteramente á cubierto de los efectos de las avenidas. La especie de aspiracion que por efecto del bajo nivel de la solera del túnel se produce en la corriente del rio, mantiene constantemente expedito el cáuce del rio á la cabeza de dicho túnel, desapareciendo por lo tanto todo peligro de que el canal pudiera, por la causa ántes indicada, llegar á quedarse en seco.

Muros de contencion y canales de fábrica. En el caso en que el terreno en que deba abrirse la caja del canal tenga una pendiente trasversal excesiva, ó pase, por ejemplo, de un 10 por 100, ó cuando sea dicho terreno desfavorable por su demasiada permeabilidad, podrá convenir el construir de fábrica el cajero del canal, ó sólo una parte de él, con muro de contencion en la porcion inferior de la ladera, atendiendo á que puede resultar el coste de la obra de

fábrica ménos considerable que el que pudiera exigir la construccion y conservacion del terraplen, por su naturaleza expuesto á más frecuentes y peligrosas averias.

Ocurre á veces, y de ello hemos visto un caso notable en el canal de Urgel, que estando abierto el cajero del canal en una ladera de mucha pendiente, la naturaleza del terreno y la disposicion especial de los estratos que le forman dan lugar á un movimiento general de resbalamiento de los bancos y á un desplazamiento consiguiente de la línea del canal. En este caso, el empleo de la fábrica para la construccion del cajero, léjos de darle estabilidad, determinaria su completa ruina, á ménos de construir costosísimos muros de contencion, de resistencia proporcionada al empuje colosal que ejerce el desvio total de la ladera.

El caso á que nos referimos lo hemos observado en el primer tramo del canal de Urgel. Hállase abierto el cajero del canal en una ladera escarpada, á cuyo pié, y á una distancia vertical de 30 metros próximamente, se desarrolla el cáuce del rio Segre. La montaña está formada de bancos de arcillas y margas, alternando con estratos de roca arenisca, inclinados en el sentido de la ladera. Las aguas de lluvia y las procedentes del derretimiento de las nieves empapan el lecho de arcilla y margas sobre que descansa la arenisca, y reblandeciéndolo se produce un movimiento de resbalo, que se traduce por un avance de la ladera hacia el rio. Así se observa que la línea de arbolado que limita el terraplen se queda en algunos puntos muy por debajo y á bastante distancia de la arista exterior de la banqueta, despues de haberse rectificado la traza del canal con el objeto de restablecer el primitivo nivel de la solera. Este grave inconveniente se ha corregido reparando el terraplen, metiendo nuevamente el cajero en la ladera, y saneando el terreno por cima del nivel del canal, á fin de disminuír la intensidad de las filtraciones y de evitar que alcancen estas á los bancos inferiores.

En otros sitios ha aumentado la intensidad del movi-

miento de arrastre de los estratos la corrosion ejercida por la corriente del rio en la base del escarpe.

Revestimientos. Con el objeto de consolidar las márgenes del canal cuando el terreno es desagregable, se suele emplear en muchos casos el encespedamiento, por cuyo medio se facilita para más adelante la sustitucion del césped por otra vegetacion espontánea más robusta. Cuando la vegetacion no puede consolidar suficientemente el suelo, y las pérdidas por desmoronamientos y erosiones en el fondo pueden quedar compensadas por el coste de un revestimiento de fábrica, se emplea éste, usando en general para el objeto ladrillos colocados de canto. Si la pendiente del canal es muy notable ó hay necesidad de contrarestar los efectos del choque del agua en los saltos, se emplean losas ó sillares. Cuando el revestimiento tenga lugar en una porcion de canal abierto en terraplen, convendrá, por lo general, ponerlo en comunicacion, por medio de apoyos, con el terreno resistente. Desde luégo se advierte que estos revestimientos son sumamente caros, y que muchas veces podrán evitarse gastando las pendientes por medio de saltos aplicables al trabajo industrial.

En algunos canales del Mediodía de Francia, principalmente en los situados en las regiones montañosas del departamento de los Pirineos orientales, hemos visto con frecuencia empleados los revestimientos de mampostería en seco en aquellos puntos en que por la necesidad de conservar á la solera una pendiente incompatible con la estabilidad de las tierras se hacia indispensable protegerlas contra la accion de las erosiones. Los sedimentos de las mismas aguas, rellenando los huecos de la mampostería, lo mismo en las márgenes que en el fondo, han hecho impermeable el envase despues de trascurrido cierto tiempo.

La necesidad de evitar las pérdidas de agua por filtracion, cuando estas pérdidas son muy grandes, podrá exigir el revestimiento de los canales. En la mayoría de los casos, sin embargo, bastará aprovechar el sedimento que se depo-

sita en el fondo y en las márgenes, procedente de las partículas térreas que las aguas turbias llevan en suspension. Con este objeto será conveniente introducir dichas aguas en un canal recien construido, y retenerlas en él en tramos convenientemente aislados, y revolviendo el agua, si fuere preciso, á fin de diseminar sobre toda la superficie mojada los depósitos excesivos que se hubiesen formado en el fondo.

Este procedimiento sencillo y económico, bastante eficaz en la mayoría de los casos, es insuficiente en otros en que el cajero se halla abierto en ciertas margas que se deslien con facilidad, en terrenos arenosos ó en cascajares, ó en terrenos de roca agrieteada. En estos últimos casos, miéntras no sea absolutamente preciso apelar á los revestimientos de fábrica, puede obtenerse la impermeabilidad del canal, recurriendo á revestimientos de tierra arcillosa convenientemente apisonada, puesta en inmediato contacto con las aguas, y áun mejor, sobre todo cuando la tierra arcillosa no abunda, formando un núcleo de revestimiento interior al abrigo de las erosiones.

En el canal de Urgel hemos visto empleado con éxito un procedimiento especial para impedir las grandes filtraciones que en el corto trayecto de 500 metros llegaban á consumir un caudal de 12 metros cúbicos por segundo, ó sea la casi totalidad de las aguas que llevaba el canal principal en las inmediaciones del rio Cenill. Atravesaba el canal unas margas triásicas, en cuyo seno se producian con facilidad suma boquetes ó sumideros, que en breve espacio agotaban todo el caudal. Despues de varias tentativas infructuosas para atajar el mal, se extrajo de todo el perímetro del cajero un espesor de tierras de medio metro, se formó un cajero de madera con durmientes, traveseros y entablonado, encima del cual se extendió una capa de hormigon hidráulico de 0,12 metros de espesor. Sobre este lecho se colocó una capa de arcilla apisonada de cerca de medio metro, consiguiéndose hacer el envase completamente impermeable, sin necesidad de recurrir á revestimientos más costosos.

Paso del canal al través de una corriente de agua. El paso del canal al través de una corriente de agua puede efectuarse por encima, por medio de un puente-acueducto ó de un puente-sifon; subterráneamente, sobre todo cuando no se dispone de la suficiente altura, por medio de un sifon propiamente dicho, ó bien introduciendo las aguas del canal en el barranco, arroyo ó rio, y estableciendo una nueva presa en el punto en que tengan que abandonarlo. Las condiciones particulares del trazado y la mayor economía de la construccion determinarán cuál sea en cada caso el procedimiento más conveniente.

Puentes-acueductos. La construccion de los puentes-acueductos constituye el objeto de un vasto é interesante estudio, ajeno al objeto que en nuestro trabajo nos hemos propuesto, y para él se podrá recurrir á tratados especiales y á las Memorias publicadas con referencia á proyectos ejecutados.

Entre los puentes-acueductos más notables que hemos visto, citaremos el de Roquefavour, obra verdaderamente monumental construida desde 1842 á 1847 por el célebre Ingeniero M. Montricher en el canal de Marsella. Tiene por objeto salvar la profunda garganta del rio L'Arc. Mide 400 metros de longitud, y su ancho es de $14^{m},20$ en la base y de $4^{m},50$ en la coronacion. Su altura sobre el nivel de estiaje del rio es de $82^{m},65$. Está constituido por tres series de arcos superpuestos: la primera serie tiene $34^{m}0,1$ de altura, y está formada por 12 arcos de medio punto de 15 metros de luz; la segunda serie la forman 15 arcos de 16 metros de luz á una altura de $37^{m},60$; la tercera serie está formada por 53 arcos de 5 metros, los cuales sostienen el cajero del canal, y la altura de esta tercera serie es de $10^{m},95$. Su coste ha ascendido á la enorme cifra de 3.700.000 frs. Pueden verse los detalles de esta grandiosa obra en el tomo III de la *Hidráulica agrícola* de M. Nadault de Buffon.

Merecen asimismo citarse el puente-acueducto de Galas, construido sobre el rio Sorgue, que sale de la fuente de

Vaucluse para el paso del canal de Carpentras, y el puente de hierro construido sobre el rio Sió para el paso del canal de Urgel. El primero está formado por 13 arcos de 9 metros de luz, y su altura máxima es de $24^{m},50$ sobre el nivel de estiaje del rio Sorgue. El puente-acueducto sobre el rio Sió ha sustituido al antiguo puente de fábrica, arrastrado por una inundacion. Sobre las pilas y estribos del puente derruido se corrió el nuevo puente, muy notable por su construccion y por el perfecto ajuste y calafateado de todas sus piezas, que no dan lugar á filtraciones de ningun género. Fué construido en los acreditados talleres de *La Maquinista terrestre y marítima* de Barcelona.

Para el estudio de los puentes-acueductos pueden consultarse el tomo III del *Cours d'Agriculture et d'Hydraulique agricole,* de M. Nadault de Buffon; las láminas XX, XXI y XXII del Atlas que acompaña á la obra del mismo autor, y cuyo título es *Des canaux d'irrigation de l'Italie septentrionale,* y los detalles de las obras de arte del canal de Carpentras que se hallan en la *Collection de Dessins ou Album des elèves del'Ecole des Ponts et Chaussées* de París.

Sifones. Los sifones son tubos que unen vasos comunicantes; están, por lo tanto, sujetos á las leyes generales del equilibrio de los líquidos, y, si posible fuera prescindir de las resistencias pasivas, deberian establecer la igualdad de nivel entre ambas ramas, cualesquiera que fuesen la forma y dimensiones del tubo, como se verifica en estado de equilibrio.

Los sifones se construyen de fábrica ó empleando tubos de hierro. En el primer caso hay que dar á los revestimientos el espesor que exige la carga de agua, procurando redondear los ángulos, á fin de que, con la disminucion de las resistencias debidas á rozamientos y choques, haya la menor pérdida posible de altura del agua en el orificio de salida.

Cuando se establecen una ó varias tuberías de hierro, que recibiendo el agua por uno de los extremos la vierten por el

otro, se procura que aquellas se plieguen á las inflexiones del terreno. Este procedimiento, generalmente más económico que el de los puentes-acueductos, lleva sin embargo consigo una pérdida de nivel en el orificio de salida, la cual se determina por las fórmulas del movimiento del agua por cañerías.

Cálculo del desnivel en los sifones tubulares de hierro. Al tratar de establecer una construccion de este género, hay necesidad de relacionar la diferencia de nivel, el volúmen de agua por segundo, la longitud de la cañería y el diámetro de los tubos por medio de la fórmula siguiente:

$$H = 0{,}08264\,\frac{Q^2}{D^4} + 0{,}002221\,\frac{L}{D^5}\,(Q^2 + 0{,}0432\,QD^2),$$

en la que H es el desnivel necesario entre los puntos de entrada y salida del agua, Q el volúmen de agua por 1″, D el diámetro de los tubos y L la longitud de la cañería.

Por medio de la anterior ecuacion se puede determinar cualquiera de las cuatro cantidades, conocidas que sean las tres restantes.

Cuando la cantidad de agua que hay que conducir por un sifon es muy considerable, es preferible al empleo de una sola tubería el de varias que se repartan el caudal que se ha de trasvasar. Para la determinacion del número de tuberías y de las dimensiones de las secciones convenientes en cada caso, hay que atender á los mayores diámetros que permitan las condiciones de una buena fundicion, á la comodidad de los trasportes, á la exposicion á roturas, á la perfeccion de los asientos, á la facilidad de reparar las averías sin interrumpir por completo el servicio del canal, y al desarrollo de las secciones mojadas, compatible con la pérdida de nivel que las condiciones del proyecto permitan.

En los sifones del canal del Lozoya se adoptó el diámetro de tres piés ingleses (0^m,9144), que es el de los mayores tubos generalmente usados en la conduccion de aguas. La dotacion del canal se dividió en tres partes iguales de 20.000 reales fontaneros (0,75112 métros cúbicos por 1″), resul-

tando tres filas de tubos, y aquella cantidad sirvió para el cálculo, sin aumento alguno en las resistencias, por ser éstas relativamente pequeñas en tubos de seccion trasversal tan grande.

Espesor de los tubos. Otra cuestion no ménos importante para el establecimiento de las tuberías es la relativa á su espesor práctico. Este se determina por la fórmula

$$e = 0^{m},0080 + 0,00160\,Dn,$$

aplicable á los tubos de fundicion, en la que e es el espesor buscado, D el diámetro de los tubos, y n la presion en atmósferas que se ejerce sobre sus paredes.

Resistencia de los tubos. Determinada la presion máxima que deben soportar los tubos, deducida de la profunfundidad del sifon y de la velocidad de salida del líquido, hay que someterlos á una prueba prévia por medio de una prensa hidráulica. El detalle de las pruebas á que fué sometida la tubería empleada en los sifones del canal del Lozoya puede verse en la Memoria que sobre dichas obras escribieron en 1856 D. Rogelio de Inchaurrandieta y otros alumnos de la Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Memoria inserta en el tomo II de la coleccion correspondiente de la *Revista de Obras públicas*.

Colocacion de los tubos. Lo colocacion de los tubos en obra es una operacion delicada, que exige precauciones minuciosas, puesto que se trata de formar una cañería sometida á grandes presiones y á choques considerables, sobre todo en el momento de la introduccion del agua, presiones y choques que pueden producir el desarreglo de las juntas y los consiguientes escapes de agua. El método empleado en los sifones del canal del Lozoya fué el de enchufes con relleno de juntas por medio de filástica embreada y plomo derretido.

Obras complementarias en los sifones. La construccion de un sifon de esta clase exige el revestimiento del canal en un pequeño trayecto á la entrada y salida de las

aguas por el conducto ó conductos tubulares, y el establecimiento de una compuerta de desagüe ántes de introducirse las aguas en el sifon para los casos de reparaciones y limpia de tubería. Con el mismo objeto se disponen compuertas en el orígen de la tubería, á fin de evitar, en caso necesario, la introduccion del agua. Las extremidades de la tubería están empotradas en un muro de fábrica, y el resto de la misma, ó se halla protegida por un revestimiento de fábrica, ó apoya simplemente sobre el terreno, introducida en una zanja, cuya altura no exceda del diámetro de los tubos.

Para reparar las averías de los sifones es preciso desaguarlos préviamente, lo cual se consigue disponiendo en el punto más bajo, y en cada una de las filas, un tubo de desagüe, que se hace terminar en una galería ó alcantarilla que lleve las aguas al exterior con el menor desarrollo posible.

Cuando el sifon va construido sobre un puente, puede tambien disponerse una casilla de desagüe en el punto más bajo de las filas de la tubería, en la cual se reunen los caños de descarga correspondientes á cada una de dichas filas.

Sifones de fábrica. Los sifones de fábrica se construyen unas veces con la cobija formada de losas y otras veces abovedada. Recordaremos lo que hemos indicado ya anteriormente respecto á la contraccion que experimenta el agua al introducirse en una obra de esta clase, y respecto á la disminucion de velocidad por efecto de la aspereza de las superficies, de la forma de éstas y del mayor ó menor perímetro mojado. La adopcion de formas curvilíneas en los sifones no es fácil tratándose de obras de fábrica, á causa de los inconvenientes que ofrece el aparejo de la construccion; así es que ordinariamente se adoptan las formas planas, y cuando más se procura matar las aristas y arredondear los ángulos.

Importa asimismo tener presente, cuando se emplean conductos abovedados para los sifones, que si la resistencia de las bóvedas es grande para presiones exteriores, es ge-

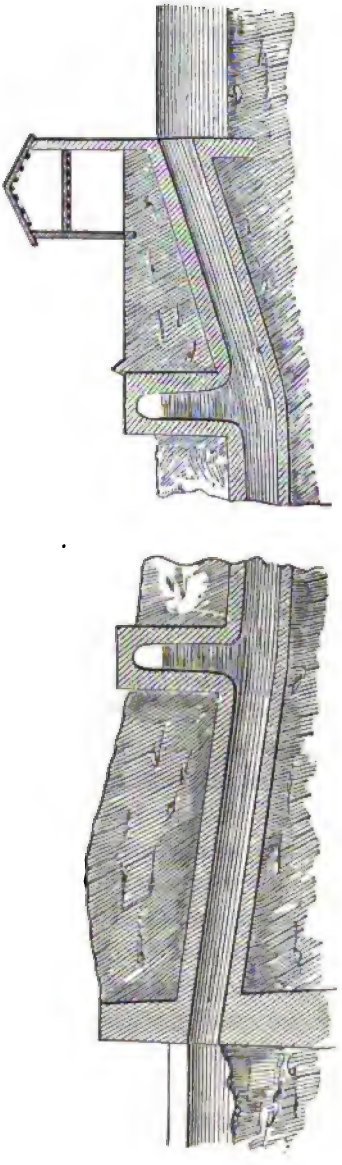


Fig. 40.—Sifon de la acequia Real del Júcar en la rambla de Algemesí.

neralmente débil cuando las presiones que hay que contrarestar son interiores, y por lo mismo, en caso de no bastar la carga vertical exterior para contrarestar la presion interna, será preciso aumentar la resistencia de la bóveda sujetándola exteriormente con fuertes aros de hierro.

En la figura 40 representamos un croquis del sifon del canal del Júcar para el paso de la rambla de Algemesí, cuya obra data de la época de Cárlos III.

En las láminas IV y V del tomo III del *Cours d'Agriculture et Hydraulique agricole* de M. Nadault de Buffon pueden estudiarse varios pequeños modelos de sifones de fábrica. Pueden verse tambien otros modelos tomados de los canales de Italia en las láminas XXIII, XXIV y XXV del Atlas de la obra especial del mismo autor.

Sifones del Lozoya. De los sifones construidos en el canal del Lozoya corresponden: al sistema subterráneo, el de Bodonal, de 1.400 metros de longitud, y cuya pérdida de altura es

de 2m,9523; y al sistema de puentes sifones los de Malacuera, Guadalix y Morenillo, de una longitud respectiva de 860m, 356m y 170m, y cuyas pérdidas de altura vienen representadas en metros por los números 1m,773, 0m,8010 y 0m,7784.

El coste del sifon del Guadalix fué el siguiente:

		Reales.	Total reales vn.
Movimiento de tierras.	Explanacion para el asiento.....	32.048	52.272
	Terraplen de abrigo.....	20.224	
Obras de fábrica.....	Puente sifon.....	399.866	699.552
	Dos casas de compuertas.....	201.650	
	Casa de desagüe.....	98.036	
Obras accesorias.....			24.717
Tuberías, llaves, compuertas y su colocacion en obra.....			1.559.700
Total...			2.336.241

Calculado el metro lineal de puente-acueducto en 24.000 reales, y siendo 295 metros la anchura del valle, el coste de dicho puente hubiera ascendido á unos siete millones de reales.

Alcantarillas, tajeas, pontones y puentes de paso. La construccion de las alcantarillas, tajeas y pontones en los proyectos de canales de riego suele ajustarse por lo general en España á los modelos que sirven de tipo para los proyectos de carreteras, con las modificaciones que exige la naturaleza particular del servicio á que se destinan. Los puentes de paso serán ordinariamente obras sencillas, cuyo objeto es poner en comunicacion los terrenos situados en ambas orillas del canal.

Túneles. Estas obras son de uso frecuente en la construccion de los canales de riego, puesto que cuando ocurre la necesidad de abrir para el paso de las aguas una trinchera de 17 á 18 metros de profundidad es generalmente preferible, bajo el punto de vista económico, suministrar á las aguas un conducto subterráneo á dejarlas discurrir á cielo descubierto.

Los túneles pueden perforarse en toda clase de terrenos, desde los de roca compacta hasta los desagregados: su longitud debe estar, en lo posible, en razon inversa de las dificultades de ejecucion.

Para los canales de navegacion se dan á los túneles dimensiones proporcionadas á las de los barcos que los surcan, aumentándose además por cada lado la anchura en $1^m,20$ á $1^m,50$ con destino al camino de sirga. El ancho ordinario es, por lo tanto, en esta clase de canales, de 6 á 7 metros. En los canales de riego, por el contrario, puede aumentarse la pendiente á expensas de la seccion, con lo cual se obtiene el mínimo desmonte compatible con el movimiento de las aguas en buenas condiciones de velocidad. Este mínimo de las dimensiones del túnel para el paso de un canal de riego puede fijarse en $1^m,20$ de ancho por 2 de altura, puesto que para dimensiones menores aumentaria en una proporcion muy notable la dificultad de extraccion de las tierras. De ordinario se suprime la banqueta, porque la vigilancia habitual se ejerce con el auxilio de botes, y en caso de reparacion de averías se deja el canal en seco temporalmente.

Los numerosos datos que han suministrado las construcciones modernas de los canales y de los ferro-carriles pueden dar con la suficiente aproximacion el precio del metro lineal de túnel en un terreno de naturaleza conocida. Existen, sin embargo, en esta clase de construcciones dos circunstancias particulares muy importantes que pueden, segun los casos, hacer variar los precios entre límites muy distantes: tales son: primero, el encuentro de manantiales abundantes al perforar los pozos ó al abrir las galerías; y segundo, la poca consistencia del terreno, insuficiente para que pueda dejarse una bóveda natural que se sostenga por sí misma, ya sea de un modo permanente, ya durante la construccion del revestimiento de fábrica, que casi siempre hay necesidad de establecer en los túneles.

Dificultad de conservar las bóvedas sin revestimiento. Cuando el terreno tiene la suficiente resistencia

para poder sostenerse de modo que forme una bóveda natural de las dimensiones convenientes, no hay necesidad de proceder á la operacion del revestimiento. Es, sin embargo, indispensable examinar en este caso si la naturaleza de la roca es tal que permita la conservacion permanente de esta bóveda natural sin el auxilio de revestimiento alguno, porque entónces no se da al túnel mayor anchura que la que deba tener el canal. En caso contrario habrá que dar un exceso de anchura correspondiente al doble espesor del revestimiento de fábrica.

La experiencia suministrada por las numerosas perforaciones de túneles en las obras modernas, prueba que en la mayoría de los casos la roca que á primera vista parecia muy resistente, se altera por el contacto prolongado con el aire y por la accion de la humedad, y se hiende y desagrega, exigiendo á la postre un revestimiento que hubiera sido más fácil y económico practicado simultáneamente con la perforacion. Convendrá, por lo tanto, incluir en el proyecto la obra de revestimiento, sin perjuicio de suprimirla en aquellas porciones del túnel cuya inutilidad de revestimiento sea notoria.

Modo de construccion. Para la ejecucion del desmonte y la extraccion de los materiales que del mismo proceden, así como para el revestimiento del túnel, hay necesidad de abrir de distancia en distancia pozos verticales que, partiendo del nivel del suelo, lleguen al de la solera del canal. Se comprende la grande influencia que en el coste del metro lineal de túnel ha de ejercer la mayor ó menor profundidad que haya que dar á dichos pozos, atendiendo á que el coste de elevacion de los materiales es mucho mayor que el trasporte por medio de vehículos en camino horizontal ó inclinado, y reduciéndose además, por lo general, el diámetro de estos pozos de extraccion á un mínimo de $2^{m},00$ á $2^{m},20$, las dificultades de extraccion de los materiales, y por lo tanto el coste de la unidad de volúmen extraido, aumentan rápidamente con la profundidad.

Si, como ántes se ha supuesto, el terreno es consistente, la construccion de la bóveda de fábrica no ofrece dificultad alguna, atendiendo á que, teniendo la excavacion dimensiones algo mayores á las del trasdós de la bóveda, no se halla el emplazamiento de la construccion embarazado por la presencia de ningun pié derecho.

Con el objeto de poner la bóveda á cubierto de las filtraciones, se suele establecer un chapeado de cemento hidráulico en el trasdós de la misma, dejando á la vez de distancia en distancia mechinales que faciliten la salida de las aguas filtradas.

Construccion de los túneles en terrenos de poca consistencia. Cuando el terreno ofrece poca consistencia, es necesario proceder á su entibacion, haciendo que quede siempre un espacio libre entre el terreno natural y la cimbra propiamente dicha, á fin de poder alojar en dicho espacio el revestimiento. En este caso se procede parcialmente, y por medio de galerías separadas, ya á la construccion de la bóveda, ya á la de los muros laterales de sosten. Si se empieza por éstos, hay necesidad de abrir dos galerías laterales, comunicándose superiormente de trecho en trecho por medio de espacios huecos convenientemente entibados, en los cuales se construyen sucesivamente las porciones respectivas de la bóveda, cuya cimbra estará sostenida por el macizo de terreno natural que queda entre las dos galerías laterales. Estos pequeños tramos alternos en que el túnel posee los muros de sosten y la bóveda, ó sea el revestimiento completo, sirven de apoyo al terreno para ir volteando las bóvedas en las zonas intermedias hasta la terminacion completa del revestimiento. Luégo no queda ya más que desmontar el macizo de tierra que queda entre las dos galerías laterales que sirvieron para construir los muros.

Suele tambien empezarse por construir la bóveda, conservando debajo de la misma un macizo de tierras y empleando un sistema de piés derechos que contraresten esta

parte superior de la construccion hasta el establecimiento de los muros laterales de sosten.

Por medio de pozos laterales al eje del túnel se llega á abrir hacia la parte superior de la seccion una galería, que se va entibando á medida que se va abriendo, apoyándose las torna-puntas sobre el macizo de tierra inferior. Una vez entibado el hueco de la bóveda, se construye ésta, apoyándose la cimbra sobre una fuerte solera de madera que descansa primero sobre el terreno natural y luégo sobre piés derechos que se colocan en desmontes parciales. Despues de dejar la bóveda convenientemente contrarestada, se puede terminar la apertura de las galerías laterales, en las cuales se construyen los muros de apoyo.

Dificultades relativas á los agotamientos. Una de las mayores dificultades que se presentan en la construccion de los túneles, reconoce por causa la aparicion de aguas manantiales abundantes durante la ejecucion de los trabajos. Puede aún ocurrir que la galería subterránea proyectada se encuentre situada debajo de un manantial permanente, cuyas aguas tiendan constantemente á invadirla. No es, sin embargo, necesario que este caso particular se presente para que las aguas ofrezcan serias dificultades á la ejecucion de esta clase de obras, puesto que, áun á niveles altos, muchos terrenos presentan capas acuíferas, y las aguas que éstas contienen, despues de haber tardado mucho tiempo en reunirse, desaparecen rápidamente cuando se les ofrece medio de salida.

Esto explica, por qué en ciertos casos en que se cree poder contar con un importante manantial contínuo que compense los gastos de agotamiento hechos durante la ejecucion de las obras, se ve disminuir esas aguas y áun desaparecer rápidamente. Cualquiera que sea el orígen de las aguas que aparezcan en un túnel, hay necesidad de desembarazarse de ellas á toda costa. Siempre que pueda obtenerse el desagüe natural por medio de zanjas que lleven el agua rodada, se utilizará este medio, y cuando no se pueda fácilmente re-

currir á él, habrá necesidad de agotarlas por medio de máquinas que las eleven. No siendo posible presumir con certeza la cantidad de aguas que puedan encontrarse al hacer la excavacion, convendrá poner una cifra alzada en el presupuesto de agotamientos.

Coste de los túneles. Prescindiendo de las eventualidades que acabamos de examinar, y atendiendo tan sólo al modo excepcional de ejecucion de los desmontes y trasporte de las tierras, y á las condiciones especiales á que deben sujetarse las demás clases de trabajos, hay siempre una diferencia muy notable entre el coste de una misma clase de desmonte, comprendiendo en dicho coste el trasporte de los productos, segun que se efectue á cielo descubierto ó subterráneamente, y lo mismo puede casi decirse con respecto á las obras de fábrica. Los trabajos de entibacion, y finalmente los agotamientos, cuando las aguas son abundantes, son por sí mismos causas que pueden dar lugar á grandes gastos, con frecuencia desproporcionados con las dimensiones de las galerías. Esto explica por qué varios túneles, destinados unos al paso de canales y otros al de vias férreas, que no teniendo más que 6 metros de ancho por una altura media de 5 metros, ó sea de 30 metros de seccion efectiva, no comprendiendo los pozos, han salido á más de 1.200 pesetas el metro lineal, lo cual representaria un coste mayor de 40 pesetas por metro cúbico. Ahora bien: los gastos de excavacion y extraccion de los desmontes, áun en las rocas duras, jamás alcanzan una cifra tan elevada; pero hay necesidad de comprender en ese coste los trabajos accesorios de que ántes hemos hablado, estando además subordinado este coste á la mayor ó menor profundidad de los pozos, con cuyo auxilio hay que contar para la ejecucion de todos los trabajos subterráneos.

Hay que tener asimismo en cuenta que el precio de extraccion de las tierras, y principalmente de las rocas, en estas condiciones, como hemos indicado ya, aumenta rápidamente con la profundidad, de modo que un metro cúbico

de roca caliza de dureza media, por ejemplo, que cuesta 16 reales ejecutado el desmonte á cielo descubierto, cuesta más del triplo en cuanto la profundidad alcanza tan sólo 14 ó 15 metros, y esto no solamente por la necesidad de elevar los materiales resultantes del desmonte, sino tambien á causa de las mayores trabas con que el trabajo se ejecuta.

Como complemento insertamos adjunta una

NOTA *de los precios de coste de algunos de los principales subterráneos*

NOMBRES DE LOS SUBTERRÁNEOS Y FECHAS DEL PRINCIPIO DEL TRABAJO		VÍAS Á QUE DAN PASO	NATURALEZA DEL TERRE
Tronquoy	1803	Canal de San Quintin	Creta hendida (sin agua)
Thames y Medway	1822	Idem de Thames y Medway	Idem tierna y dura (sin agu
Saint Aignan	1822	Idem des Ardennes	Caliza azul conchífera
Pouilly	1824	Idem de Borgoña	Margas esquistosas, caliza grifitis (poca agua)
Hercastle	1825	Idem Gran Trunch	Roca, arena, arenisca (sin ag
Tierra Negra	1826	Ferro-carril de Lion	Esquisto y areniscas
Charleroy	1828	Canal Charleroy	Arena movediza (agua)
Kilsby	1834	F.-C. de Lóndres á Birmingham	Tierra, arena (mucha agua)
Cumptich	1835	F.-C. Louvain	Arena y arcilla alterna (agua)
Plaza de Europa	1836	F.-C. de San German	Yeso, arena, margas (sin agu
Batignoles	1837	Idem id	Idem id
Saint-Cloud	1837	F.-C. de Versalles	Margas yeso (agua)
Fowq	1839	Canal del Marne al Rhin	Idem caliza (mucha agua)
Liverdum	1839	Idem id	Caliza oolítica (sin agua)
Arschwiller	1839	Idem id	Areniscas (mucha agua, ha acabado por desapare
Arschwiller	1840	Idem id	Idem id
Manvages	1840	Idem id	Margas fáciles de trabajar
Santa Catalina	1844	F.-C. del Havre	Creta y sílice (mucha agua)
Calle perforada		Idem id	Creta y sílice (con poca agu
Boulingrin		Idem id	Idem id
Cementerio de San Mauro		Idem id	Idem id
Monte Riboudet		Idem id	Idem id
Pissy Poville		Idem id	Idem id
Pissy Poville		Idem id	Idem id
Le Banage		Idem id	Idem id
Bolleboise			
Box			
Great-Wersten		F.-C. del mismo nombre	
White Hall		F.-C. d'Exester	
Monclar	1856	Canal de Urgel	Areniscas, yeso, margas a llosas y yesosas, arena (cha agua)
Llenguadera	1857	Canal de Urgel	Arenisca fuerte y margas a llosas
Granollers	1859	F.-C. del mismo nombre	Margas, greda arenosa (agu
San Jorge	1860	Canal de Urgel	Idem areniscas conglomera (Idem)

as circunstancias más notables en que ha tenido lugar su construccion.

gitud — tros	Anchura máxima — *Metros*	Profundidad máxima — *Metros*	Tiempo empleado en su construccion — *Años*	Coste por metro lineal — *Reales vellon*	OBSERVACIONES
1.101	8,00	50	No se sabe.	3.080	Revestido primero en muy poca longitud, despues en toda.
3.880	9,00	59	8	3.200	Atacado por doce pozos separados de 180 á 540 metros.
262	6,00	45	No se sabe.	4.280	
3.330	6,20	50	8	8.000	
2.630	4,20	57	4,17	3.960	
1.500	3,30	84	3	3.200	
1.288	4,30	36	4	4.960	
2.204	7,30	50	4	13.640	
925	4,30	29	2	3.400	
193	13,20	12	0,84	5.200	
324	7,40	18	1,50	9.520	
504	7,40	40	1,25	8.720	
868	8,00	61	3,84	6.240	Para hacer la bóveda se tardaron 30 meses.
380	8,00	33	4,75	6.407	La piedra para el revestimiento era de la misma de la excavacion y la arena se extraia de la proximidad del túnel.
2.250	8,00	65	6	Sin revestir 3.600 y revestido 6.006	La piedra de la misma excavacion.
410	8,00	28	3,75	5.200 á 5.600	
4.800	7,90	120	A los 6 años no estaba aún terminada...	6.200 á 6.800	Proyectados 22 pozos y construidos sólo 17.
1.050	7,62	131			
80	7,62	16			
1.460	7,62	21			
1.144	7,62	27	»	De 4.000 á 4.800	
340	7,62	26			
2.200	7,62	66			
200	7,62	28			
160	7,62	»			
2.600	6 á 8	»	2	10.400	
2.850	6 á 8	»	4	11.400	
»	»	»	»	10.836	
»	»	»	»	5.804	
4.917	6,976	146,5	5,50	5.300	Está todo revestido. Empezado con 13 pozos, no fué posible bajar á solera los 4 centrales, y hubo por lo tanto necesidad de abrir una longitud de galería de 1.730 metros, sin más puntos de ataque que los dos proporcionados por los pozos extremos de 105 metros profundidad el primero y de 39 el segundo.
288	6,976	»	1	1.937	
575	9,4	56,36	1,25	6.536	
220	6,976	»	1,50	2.436	

NOMBRES DE LOS SUBTERRÁNEOS Y FECHAS DEL PRINCIPIO DEL TRABAJO	VÍAS Á QUE DAN PASO	NATURALEZA DEL TERRE
De la toma	Del Lozoya	Caliza dura
De la limpia	Idem	Idem id
Solana núm. 1	Idem	Idem id
Solana núm. 2	Idem	Idem id
Del Espartal	Idem	Arcilla y arena
De Zurita	Idem	Arena suelta
De Sargadillo	Idem	Arcilla arena (agua)
Del Recachuelo	Idem	De acarreo con grandes blo de gneis
Zejera vieja	Idem	Idem id
Patatero	Idem	Idem id. (mucha agua)
Corzas	Idem	De acarreo.
Colmenar	Idem	Idem id
Valdeonguillos	Idem	Idem (con mucha agua)
Mimbreras	Idem	Idem id
Del Barbatero	Idem	Acarreo, arcilla, bloques d
De Valdepuercos	Idem	Idem id
Bajo la Carretera de Francia	Idem	Idem id
De Casilla	Idem	Idem (sin agua)
De Sarguesilla	Idem	Arcilloso y roca
De la Retuerta	Idem	Idem id
De la Sima	Idem	En roca
Del Polvorin	Idem	Arcilloso y cantos
Cabeza-cana	Idem	Arcilloso-calizo
Del Cerrillo	Idem	Arcilloso
De la Parrilla	Idem	Idem y canto rodado
De Valdemojados	Idem	Arcilla compacta
Llanos de la Mancha	Idem	Arena id
De Viñuelas	Idem	Arcilloso-arenoso
De Valdemasilla	Idem	Arena y cantos
De Otero	Idem	Arcilla arenosa (agua)
De Valdelatas	Idem	Arena arcillosa compacta
De la Morena	Idem	Arcilla arenosa (agua)
Santa Ana	Idem	Idem compacta

ngitud — etros	Anchura máxima — *Metros*	Profundidad máxima — *Metros*	Tiempo empleado en su construccion — *Años*	Coste por metro lineal — *Reales vellon*	OBSERVACIONES
62					
50	1,39	8,05	»	268	Revestidas únicamente las grietas.
227	1,39	12	»	226	
78	1,39	22	»	624	Seccion elíptica. Fábrica de ladrillo.
439	1,39	16	»	629	Idem id.
168	1,39	24	»	650	Idem id.
450	1,39	26	»	792	Idem id.
299	1,39	47	»	1.008	Fábrica de ladrillo.
196,5	1,39	34	»	742	Seccion elíptica, de ladrillo y hormigon.
755	1,39	34	»	814	Idem id.
94	1,39	41	»	914	Idem id.
83	1,39	15	»	742	Ladrillo y hormigon.
394,5	1,39	16	»	819	Idem id.
124	1,39	35	»	932	Seccion elíptica. Ladrillo.
65	1,39	28	»	851	Ladrillo y hormigon.
210	1,39	18	»	742	Idem id.
141	1,39	24	»	931	Idem id.
186	1,39	26	»	742	Idem id.
180	1,39	52	»	752	Idem id.
82	1,39	38	»	590	Seccion recta, mampostería y hormigon.
2	1,39	34	»	579,34	Se han verificado grandes desplomes.
60	1,39	14,5	»	666,71	Seccion recta, mampostería y hormigon.
172	1,39	17	»	480,4	Idem id.
150	1,39	27	»	»	
226	1,39	20	»	725	Idem ladrillo y enlosado.
120	1,39	19	»	735,12	Idem ladrillo.
708	1,39	16	»	735,12	Idem id.
200	1,39	34	»	741,66	Idem id.
63	1,39	17	»	»	Idem id.
148,5	1,39	21,5	»	648,41	Idem id.
655	1,39	47,7	»	1.231,20	Idem. Fué el más difícil y costoso.
638	1,39	26,4	»	716,55	Idem ladrillo.
225	»	25,7	»	1.013,28	Idem id.
	»	16,2	»	711,29	Idem id.

CAPÍTULO XI.

DEPÓSITOS Ó PANTANOS ARTIFICIALES.

Sistema de depósitos ó pantanos. Uno de los sistemas más ventajosos de reunion de aguas con destino al riego consiste en la formacion de depósitos ó pantanos artificiales, ya sea cerrando por medio de diques de fábrica las angosturas que con frecuencia presenta el álveo de los rios y arroyos al atravesar las regiones montañosas, ya almacenando en una depresion del terreno las aguas desviadas de su cáuce natural durante el período de abundancia, con objeto de utilizarlas en la época crítica del estiaje, ó ya acumulando en sitio conveniente las que, procedentes de pequeños manantiales, ó suministradas directamente por las lluvias en la cuenca de recepcion respectiva, han de ser luégo distribuidas en la época y en la forma que las circunstancias particulares exijan.

La formacion de pantanos podrá, por lo tanto, constituir un medio supletorio para la alimentacion, durante el estiaje, de los canales derivados de los rios, y en la mayoría de los casos dará orígen á un aprovechamiento especial de las aguas, mayormente cuando por la insuficiencia del caudal contínuo disponible, ó por la situacion de los terrenos que se destinen al riego, ó por ambas causas á la vez, no sea posible recurrir con ventaja al sistema de derivaciones que hemos expuesto en los últimos capítulos precedentes.

El sistema de depósitos permite, por consiguiente, dar mayor alcance al aprovechamiento de las aguas para riego: 1.°, extendiendo el beneficio de las aguas á las regiones que

por su topografía no se prestan al establecimiento de los canales de largo desarrollo; 2.°, facilitando la aplicacion ordenada y metódica de las aguas corrientes de régimen muy inconstante, mediante su almacenamiento durante el período de abundancia en que tienen ménos valor, y su distribucion más útil y ventajosa en el de escasez; 3.°, regularizando el desagüe repentino ó intermitente que producen las lluvias aturbonadas y mal distribuidas; y 4.°, facilitando el más útil empleo de los pequeños manantiales, insuficientes por su corto caudal para dar lugar á un disfrute contínuo.

Fijándonos únicamente en este último extremo, añadiremos que para que los riegos intermitentes posean toda su eficacia, es preciso se efectúen en un tiempo relativamente corto; así, la corriente de un litro por segundo, por ejemplo, sería ineficaz para el riego, y sin embargo con este modesto caudal, adoptando el sistema de embalse, se podria dar un riego semanal de 600 metros cúbicos á una hectárea de terreno, y á una mayor extension adoptando turnos ó tandas de riego más largas. Sin entrar de lleno en el estudio de la determinacion del caudal continuo necesario para la ejecucion material del riego, ó del tiempo en que se ha distribuir sobre la unidad de superficie el volúmen que para un riego se asigne, indicaremos, no obstante, que el caudal contínuo que pueda tomarse como mínimo, será siempre superior á un litro, y dependerá principalmente del método de riego que se emplee, de la naturaleza del cultivo á que se destine, de la permeabilidad del suelo y del trayecto que tenga que recorrer el agua ántes de llegar al terreno regable.

La importancia general del sistema de riegos por medio de pantanos que se desprende de la simple enunciacion de los hechos que acabamos de apuntar, se revela aún con caracteres más marcados en nuestro país, sujeto por condiciones meteorológicas dependientes de distintas causas á prolongadas sequías, y á lluvias aturbonadas é irregulares en su distribucion dentro del período anual, y cuyos rios, por carecer en su orígen de grandes lagos que regularicen su

desagüe y de manantiales perennes de alimentacion, como los que nacen en las nevadas regiones de los Alpes, ofrecen un exiguo régimen de estiaje, fraccion insignificante en general del gasto ordinario en las épocas del año en que las aguas son reclamadas con ménos insistencia por el cultivo.

Los pantanos artificiales están llamados principalmente á desempeñar un papel importantísimo en el desarrollo progresivo del riego en las zonas agrícolas de nuestra costa de Levante, puesto que las corrientes naturales de la region mediterránea poseen, en su inmensa mayoría, un caudal de estiaje insuficiente para los cultivos hoy existentes; porque además, el beneficio del riego no tiene el carácter necesario de permanencia para el ejercicio desembarazado de la actividad agrícola experta é inteligente que á dicha zona distingue; y finalmente, porque se reproduce con desconsoladora frecuencia el triste fenómeno de verse comprometida la cosecha por los rigores de una sequía extremada, mientras que las aguas de turbion caen y desaparecen casi al mismo tiempo, sin poder ser aprovechadas por los campos calcinados por una atmósfera seca y ardiente.

Capacidad de los pantanos. Para el establecimiento de un pantano, el primer dato que hay que tomar en consideracion es el volúmen de agua disponible, cualquiera que sea el orígen de que esta agua proceda, puesto que conocido este volúmen será muy fácil fijar la superficie regable y la periodicidad del riego. Por haber desatendido este principio tan sencillo y elemental, se han malogrado en España cuantiosos capitales en la ejecucion de obras que han exigido un presupuesto que no guardaba proporcion con las utilidades posibles, y sirva de ejemplo el moderno pantano de Níjar.

Distinguiremos, por lo tanto, dos casos principales: segun que el pantano se alimente abundantemente de un rio, de un arroyo ó de manantiales de consideracion, ó segun tenga que recoger las aguas de pequeños manantiales y las suministradas directamente por las lluvias.

Determinacion de la capacidad del pantano cuando el caudal de alimentacion es abundante. Cuando exista la seguridad de poder almacenar toda el agua necesaria para el riego de una determinada superficie, la capacidad del embalse podrá deducirse tomando por base la extension del terreno regable. Si representamos por n el número de hectáreas regables, y por v el volúmen de agua necesaria por hectárea durante toda la estacion del riego, nv será la capacidad del depósito, no teniendo en cuenta las pérdidas por evaporacion y filtracion, de que luégo nos ocuparemos. Si hay posibilidad de llenar el depósito entre dos riegos consecutivos, y se dan m riegos durante la estacion, la capacidad podrá reducirse al volúmen $\frac{nv}{m}$. Las condiciones del caudal de alimentacion y el servicio especial que tengan que llenar las aguas almacenadas, podrán introducir modificaciones en el cálculo de la capacidad del depósito; así es que sobre este punto no puede fijarse regla alguna concreta. Los casos más frecuentes, tratándose de caudales importantes de alimentacion, serán aquellos en que haya que almacenar el agua en el período de abundancia para aplicarla al riego en la época de sequía; y la magnitud del pantano ha de guardar siempre proporcion con el terreno que se quiere ó se puede regar, de modo que el coste de la obra esté en relacion con las ventajas que de ella puedan obtenerse.

Pantanos alimentados por pequeños manantiales y por las aguas de lluvia. Cuando los pantanos se destinan á la reserva de un volúmen procedente de pequeños manantiales, ó de las aguas que directamente suministran las lluvias que caen en su cuenca de recepcion, hay que proceder al aforo de aquellos y de éstas, y al de las pérdidas experimentadas por todos conceptos, á fin de poder deducir la capacidad del embalse.

Aforo de los manantiales. Si la superficie dispuesta para el riego es suficientemente extensa para exigir todo el volúmen fijo y eventual de aguas aprovechable, los aforos

de los manantiales deberán practicarse en sus diferentes fases, correspondientes á las distintas estaciones, con objeto de determinar el gasto medio relativo al período en que deba hacerse el embalse.

Aforo de las aguas de lluvia. La lluvia es uno de los fenómenos meteorológicos que mayor carácter de inconstancia poseen, si no bajo el punto de vista del volúmen suministrado durante la totalidad del período anual, al ménos en el concepto de su distribucion en las diferentes estaciones y sobre la superficie del suelo de una region determinada. Además, las aguas de lluvia que caen sobre una comarca pueden considerarse distribuidas en varias porciones: una parte pasa á la corriente superficial; otra es absorbida y conservada por el terreno; otra filtrada al través de sus capas y devuelta á las líneas exteriores de reunion por los manantiales superficiales ó por los profundos de la misma cuenca en donde caen; una cierta cantidad se pierde por evaporacion, y el resto puede desaparecer pasando á los depósitos interiores, ó alimentando otra cuenca superficial ó subterránea distinta. Se comprende, por lo tanto, cuán numerosas y cuán difíciles de determinar son las causas de error con que hay que contar para el aforo *à priori* de las aguas de lluvia que pueden recogerse en un embalse, áun haciendo caso omiso de las pérdidas que por evaporacion y filtracion experimentan en éste.

Haremos, sin embargo, algunas indicaciones que, cuando ménos, permitan fijar las bases del criterio para la determinacion más ó ménos aproximada del volúmen disponible.

Es evidente que la cantidad de agua que pueda recogerse en el punto donde se piense establecer el embalse, dependerá principalmente de la extension superficial de la cuenca de recepcion, y de la cantidad de agua de lluvia que en ella caiga. Aquella superficie puede medirse exactamente, ó determinarse por aforo, y la lluvia vendrá representada por el espesor de la capa de agua que acusen las observaciones pluviométricas, si se han efectuado convenientemente y en nú-

mero suficiente, ó en caso contrario, podrá aforarse por comparacion con otras regiones análogas que hayan sido sometidas á esta clase de observaciones.

Admitida una altura de lluvia anual en la cuenca de recepcion del depósito, se representa la cantidad de lluvia por un prisma de agua, cuya base sea la superficie de la cuenca, y cuya altura sea la de la lluvia dada por los pluviómetros. El cálculo del volúmen se hará por defecto, tomando los tres cuartos del resultado de la cubicacion, cuando la cuenca sea muy grande, ó los cinco sextos cuando sea poco extensa.

Del volúmen así deducido se toma una fraccion que, á nuestro juicio, no debe pasar en España de un 30 por 100, porque á las mermas debidas á las causas generales topográficas, geológicas, y á las dependientes del estado de la superficie del suelo, y de la vegetacion que lo cubre, hay que agregar una fraccion considerable por la evaporacion resultante del clima. Segun M. Minard, de las observaciones practicadas en el pantano de Gros-Bois, situado en un terreno bastante impermeable de la Borgoña, el agua embalsada era 0,58 de la que acusaban los datos pluviométricos en la cuenca de recepcion respectiva. El Ingeniero italiano Sr. Pareto, añade que hay depósitos en que esta relacion llega á 0,69; pero que en los mejores terrenos hay que adoptar un término medio general de 0,50.

Pérdidas por filtracion en el embalse. Las pérdidas por filtracion en el depósito son muy difíciles de determinar, puesto que dependen de la permeabilidad del envase y de la carga ó altura del agua sobre su fondo. Desde las calizas cavernosas, cuyas oquedades pueden considerarse como verdaderos pozos absorbentes, hasta las arcillas y las margas, apénas permeables, cabe establecer una série de terrenos tanto más á propósito para el establecimiento del embalse, cuanto más se aproximen á los límites superiores de la escala de impermeabilidad.

Nos limitaremos, por lo tanto, á recomendar, para la

construccion del dique, la eleccion de un sitio cuyo terreno sea lo más impermeable posible, con el objeto de disminuir las pérdidas por el concepto indicado.

Pérdidas por evaporacion. Si la superficie del agua en el embalse fuese constante, ó no sufriese más que pequeñas variaciones, las pérdidas por evaporacion se calcularian multiplicando esta superficie invariable por la altura del líquido que en cada veinticuatro horas se evapora en los meses que comprende la temporada de riegos, y por el número de dias que dura la sequía, partiendo de los datos que arrojen las observaciones meteorológicas locales.

Pero si la superficie de la cara de aguas varía en una relacion muy considerable, si se trata además de un gran depósito cuyas aguas tienen mucho valor, y se desea hallar las pérdidas con cierta exactitud, habrá que deducir el volúmen evaporado, determinando préviamente la ley segun la cual decrece la superficie de la cara de aguas, á medida que el depósito se vacia, asemejando el vaso á la forma geométrica con la cual tenga mayores analogías.

Lo más sencillo es suponer que el vaso afecta la forma tronco-cónica, cuyas bases son respectivamente la superficie superior de nivel del líquido, y el plano horizontal que pasa por el fondo de la toma de aguas. Si además se supone que la salida del agua es uniforme, de manera que el embalse se vacia durante la sequía, dando salida á un volúmen constante de agua en la unidad de tiempo, y que la evaporacion se verifica bajo la misma ley de uniformidad, puede hallarse sin dificultad la expresion matemática de la cantidad de agua evaporada durante un tiempo cualquiera.

En efecto,

Sea A el área de la cara superior de aguas del embalse;
V el volúmen del cono total que limita la superficie A;
Q el caudal de agua que sale del embalse en la unidad de tiempo;
a el área de la cara de aguas despues del tiempo t, contado á partir del momento en qué empieza á vaciarse el embalse,
y v el volúmen del cono correspondiente á la seccion anterior a.

Puesto que las áreas A y a son secciones paralelas á la base de un mismo cono, su relacion será la de los cuadrados de las alturas correspondientes, y como la relacion de estas alturas es la de las raíces cúbicas de los volúmenes, se tendrá:

$$\frac{a}{A} = \sqrt[3]{\left(\frac{v}{V}\right)^2}.$$

El volúmen v se deduce del volúmen V, restando de éste último toda el agua que ha salido del embalse durante el tiempo t, y como se supone el gasto constante, la ecuacion anterior podrá trasformarse en esta otra:

$$\frac{a}{A} = \sqrt[3]{\left(\frac{V-Qt}{V}\right)^2}, \quad \text{ó bien} \quad a = A\left(1-\frac{Qt}{V}\right)^{\frac{2}{3}}.$$

Llamando e á la cantidad de agua evaporada en cada unidad de tiempo por metro superficial, durante el instante dt se evaporará un volúmen dado por la expresion.

$$d\,.\,E = e\,.\,a\,dt = eA\left(1-\frac{Qt}{V}\right)^{\frac{2}{3}}dt,$$

y por lo tanto, la cantidad total de agua evaporada durante el tiempo t, será:

$$E = \int_o^t eA\left(1-\frac{Qt}{V}\right)^{\frac{2}{3}}dt.$$

Efectuando la integracion se obtendrá finalmente:

$$E = \frac{3}{5}\,eA\,\frac{V}{Q}\left[1-\left(1-\frac{Qt}{V}\right)^{\frac{5}{3}}\right].$$

Esta fórmula, cuya exactitud hemos comprobado, efectuando el desarrollo del cálculo anterior, ha sido deducida por el Ingeniero de caminos D. Elezeario Boix, y aplicada á la determinacion del volúmen de agua evaporada en la nueva presa de embalse del Villar, destinada á la alimentacion del canal del Lozoya.

Ventajas relativas de los grandes pantanos y de los

NOMBRES DE LOS SUBTERRÁNEOS Y FECHAS DEL PRINCIPIO DEL TRABAJO	VÍAS Á QUE DAN PASO	NATURALEZA DEL TERRENO
De la toma	Del Lozoya	Caliza dura
De la limpia	Idem	Idem id
Solana núm. 1	Idem	Idem id
Solana núm. 2	Idem	Idem id
Del Espartal	Idem	Arcilla y arena
De Zurita	Idem	Arena suelta
De Sargadillo	Idem	Arcilla arena (agua)
Del Recachuelo	Idem	De acarreo con grandes bloques de gneis
Zejera vieja	Idem	Idem id
Patatero	Idem	Idem id. (mucha agua)
Corzas	Idem	De acarreo.
Colmenar	Idem	Idem id
Valdeonguillos	Idem	Idem (con mucha agua)
Mimbreras	Idem	Idem id
Del Barbatero	Idem	Acarreo, arcilla, bloques
De Valdepuercos	Idem	Idem id
Bajo la Carretera de Francia	Idem	Idem id
De Casilla	Idem	Idem (sin agua)
De Sarguesilla	Idem	Arcilloso y roca
De la Retuerta	Idem	Idem id
De la Sima	Idem	En roca
Del Polvorin	Idem	Arcilloso y cantos
Cabeza-cana	Idem	Arcilloso-calizo
Del Cerrillo	Idem	Arcilloso
De la Parrilla	Idem	Idem y canto rodado
De Valdemojados	Idem	Arcilla compacta
Llanos de la Mancha	Idem	Arena id
De Viñuelas	Idem	Arcilloso-arenoso
De Valdemasilla	Idem	Arena y cantos
De Otero	Idem	Arcilla arenosa (agua)
De Valdelatas	Idem	Arena arcillosa compacta
De la Morena	Idem	Arcilla arenosa (agua)
Santa Ana	Idem	Idem compacta

ngitud — letros	Anchura máxima — *Metros*	Profundidad máxima — *Metros*	Tiempo empleado en su construccion — *Años*	Coste por metro lineal — *Reales vellon*	OBSERVACIONES
62	1,39	8,05	»	268	Revestidas únicamente las grietas.
50	1,39	12	»	226	
227	1,39	22	»	624	Seccion elíptica. Fábrica de ladrillo.
78	1,39	16	»	629	Idem id.
438	1,39	24	»	650	Idem id.
168	1,39	26	»	792	Idem id.
450	1,39	47	»	1.008	Fábrica de ladrillo.
209	1,39	34	»	742	Seccion elíptica, de ladrillo y hormigon.
196,5	1,39	34	»	814	Idem id.
755	1,39	41	»	914	Idem id.
91	1,39	15	»	742	Ladrillo y hormigon.
83	1,39	16	»	819	Idem id.
394,5	1,39	35	»	932	Seccion elíptica. Ladrillo.
194	1,39	28	»	851	Ladrillo y hormigon.
65	1,39	18	»	742	Idem id.
210	1,39	24	»	931	Idem id.
141	1,39	26	»	742	Idem id.
166	1,39	52	»	752	Idem id.
160	1,39	38	»	580	Seccion recta, mampostería y hormigon.
182	1,39	34	»	579,34	Se han verificado grandes desplomes.
32	1,39	14,5	»	666,71	Seccion recta, mampostería y hormigon.
60	1,39	17	»	480,4	Idem id.
172	1,39	27	»	»	
150	1,39	20	»	725	Idem ladrillo y enlosado.
226	1,39	19	»	735,12	Idem ladrillo.
120	1,39	16	»	735,12	Idem id.
708	1,39	34	»	741,66	Idem id.
300	1,39	17	»	»	Idem id.
423	1,39	21,5	»	648,41	Idem id.
148,5	1,39	47,7	»	1.231,20	Idem. Fué el más difícil y costoso.
655	1,39	26,4	»	716,55	Idem ladrillo.
634	»	25,7	»	1.013,28	Idem id.
325	»	16,2	»	711,29	Idem id.

CAPÍTULO XII.

CONSTRUCCION DE PANTANOS.

Examinadas las cuestiones generales relativas al sistema de reunion de aguas por medio de pantanos, vamos á exponer algunas nociones acerca de su construccion, y atenderemos para la division de este estudio á la naturaleza de los materiales que se empleen para la formacion del dique. Distinguiremos, por lo tanto, los pantanos cerrados por diques de tierra de los que exigen la construccion de un muro de fábrica.

PANTANOS CERRADOS POR DIQUES DE TIERRA.

Diques de tierra Los pantanos cerrados por medio de diques de tierra constituyen un sistema sencillo y económico de aprovechamiento de las aguas de lluvia y de pequeños manantiales, en terrenos de poca pendiente, y para el riego de zonas de corta extension. Estos depósitos, que en nuestras provincias reciben el nombre de *charcas* ú *hoyas*, permiten perfeccionar el cultivo agrícola, localizando el riego hasta en las más pequeñas parcelas, y en los sitios en que, por cualquier causa, no sea posible establecer obras de conjunto que se destinen al beneficio de una extensa zona.

El mayor estanque de esta naturaleza, de que tenemos noticia en España, es el denominado *Hoya de Mostar*, construido en 1842 en jurisdiccion de Corella en Navarra. El dique de contencion, formado de tierra, tiene unos 7 metros de altura por 220 de longitud, y las aguas recogidas en el

embalse se destinan al riego de unas 800 hectáreas, de olivar en su mayor parte. En menor escala hemos visto bastante extendido este sistema en las provincias catalanas, sobre todo en el campo de Tarragona.

Construccion de las charcas en terrenos de poca pendiente. Cuando el terreno en que se pretende construir el depósito tiene poca inclinacion, se le dispone, en lo posible, parte en desmonte y parte en terraplen, con objeto de que haya poco movimiento de tierras. A la apertura del envase debe preceder un estudio de su alimentacion y conveniente desagüe, para que llene el objeto á que se le destina. La forma circular de la proyeccion del envase será la más conveniente, cuando las circunstancias particulares del terreno no se opongan á ello, por ser dicha forma la que proporciona mayor volúmen de agua con el menor desarrollo del dique.

Convendrá, por lo general, aprovechar las depresiones naturales del terreno para el establecimiento del embalse, ya situándole en la misma angostura del valle cuyas aguas tenga que recoger, ó ya conduciendo estas aguas por medio de una sencilla derivacion al punto que se considere más ventajoso. La traza del dique podrá disponerse segun una línea recta, curva ó poligonal, conforme sean los accidentes del terreno, y teniendo en cuenta la capacidad que se quiera dar al envase y el menor desarrollo de muro compatible con aquélla y con la economía del presupuesto.

Forma, dimensiones y construccion de los diques. Los diques de tierra suelen tener una altura de $0^m,50$ sobre el máximo nivel de las aguas embalsadas en los depósitos de pequeña capacidad, y de un metro ó más en los mayores, con objeto de que el oleaje producido por los vientos no cause deterioros á la coronacion del muro. Es además conveniente dar al dique en toda su longitud una altura mayor que la calculada como definitiva, á fin de compensar la pérdida debida á los asientos, equivalente, segun el Ingeniero italiano Sr. Pareto, al $\frac{1}{20}$ de la altura relativa á cada punto del ci-

miento. Suélese dar tambien alguna mayor elevacion á la parte media que á las extremas, tanto por la desigualdad de los asientos, debida á la diferencia de carga, como porque en caso de averías es preferible que éstas se produzcan en los extremos que en el centro, á causa de los mayores desperfectos á que puede dar lugar el agua, cayendo de más considerable altura.

El ancho del dique en la coronacion suele hacerse de $1^{m},50$ independientemente de las otras dimensiones, las cuales vendrán dadas por la altura y por el talud ó inclinacion de los paramentos. Sólo deberá adoptarse una mayor anchura en la cresta cuando ésta deba servir de via de comunicacion entre las dos márgenes del valle embalsado.

El talud exterior depende en rigor de la naturaleza de las tierras empleadas; pero se adopta en la práctica el de uno y medio de base por uno de altura. El talud interior, que se halla en contacto con las aguas, debe ser más tendido; y segun los cálculos de resistencias hechos por el Sr. Pareto, coresponde á 2,80 de base por uno de altura; de modo que en la práctica la relacion podrá ser de 3 á 1.

Se procede á la cimentacion del dique abriendo previamente una zanja hasta llegar al terreno resistente é impermeable, cuya zanja ofrezca una série de retallos en vez de una superficie horizontal única. El relleno de la zanja y la construccion del dique podrán efectuarse cuando la tierra reuna condiciones á propósito con la que se extraiga del mismo sitio destinado al embalse, con lo cual se consigue á la vez el aumento de la capacidad aprovechable.

Limpia la tierra de césped y cantos que puedan destruir su homogeneidad, se extiende por tongadas horizontales de 10 á 15 milímetros de altura, y se comprime fuertemente por medio de pisones en forma de cuña redondeada, pudiendo hacerse concurrir al mismo efecto el tránsito de los carros y demás vehículos destinados al trasporte de las tierras.

Así ejecutado el dique, experimenta, como hemos dicho, asientos proporcionales á la altura, y da lugar á filtraciones,

sobre todo durante el primer año de servicio; pero reparadas las averías, no tardan las tierras en adquirir su asiento definitivo. En el caso de escapes de consideracion durante los primeros meses de uso del dique, bastará las más de las veces vaciar en parte el embalse y dejar pasar algun tiempo sin volverle á llenar; al secarse la tierra se comprime nuevamente y se hace impermeable.

Toma de aguas. Para vaciar completamente los pantanos, ó para tomar el agua en las proporciones que exijan las necesidades del servicio, el medio generalmente adoptado consiste en disponer un orificio que se abre ó se cierra á voluntad, y un conducto ó galería en el punto más bajo del depósito, que atraviesa el dique en su mayor espesor y en sentido normal á la proyeccion de sus paramentos. Este conducto, que puede ser prismático ó cilíndrico, debe tener una seccion proporcionada á la cantidad de agua á que tenga que dar salida en un tiempo dado.

La figura 41 representa el corte trasversal de un dique de

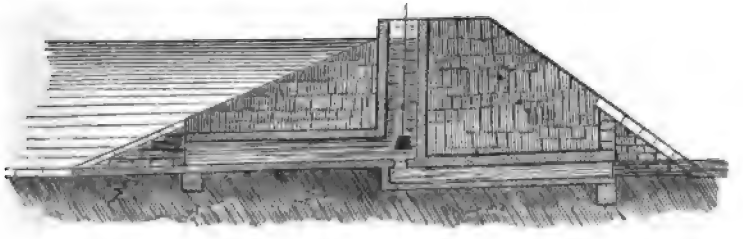
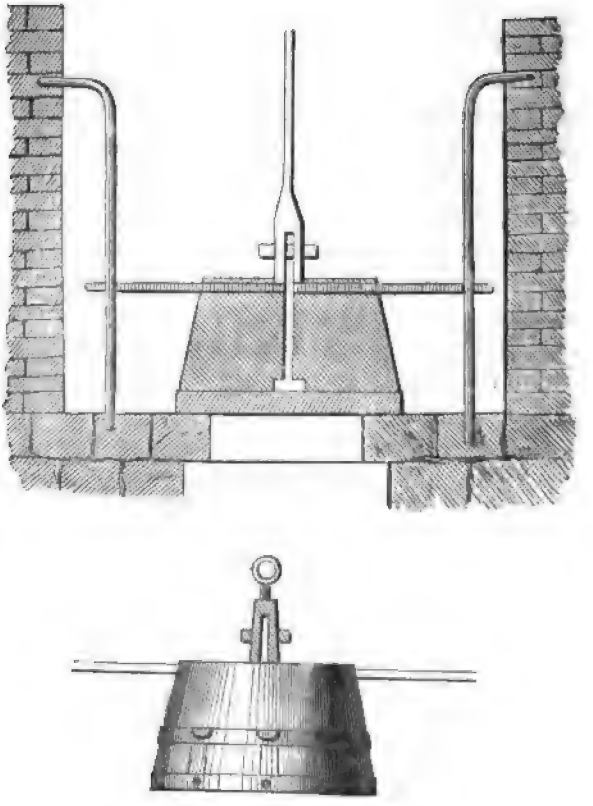


Fig. 41.—Corte trasversal del dique.

tierra con desagüe de válvula, cuyo sistema es el más generalmente usado en los pantanos de riego de Italia. La galería de salida comunica con el pozo abierto en el centro del dique; en el fondo del pozo se ha practicado un orificio circular que comunica con la verdadera galería de desagüe, cerrándose dicho orificio por medio de una válvula de piedra de forma cónico-truncada. La maniobra para levantar ó sentar la válvula se ejecuta encima del pozo por medio de un torno y una cadena, ó con el auxilio de un engranaje de cremallera, res-

guardándose el aparato de toda agresion extraña por medio de una casilla construida en la coronacion del dique.

Las figuras 42 y 43 dan los detalles de la válvula. A su



Figs. 42 y 43.—Detalles de la válvula.

cara inferior lleva ésta aplicado un disco circular de madera: encima de ésta va clavada una guarnicion de cuero, cuyo objeto es evitar, con un cierre más perfecto, los escapes de agua entre el asiento de la válvula y la superficie superior del sillar donde se halla el orificio de desagüe. Para obtener el buen asiento de la válvula y evitar al propio tiempo que

los remolinos del agua puedan producir choques de la piedra y las paredes del pozo, va guiada dicha válvula en su movimiento de ascenso y descenso por dos varillas verticales que la sujetan en sentido lateral, por medio de otra varilla trasversal articulada á las mismas, formando un sistema rígido con el vástago empotrado en el cono truncado de piedra.

El pozo circular y las galerías horizontales pueden construirse de ladrillo y mortero hidráulico, y para su resistencia bastará un grueso de 10 á 12 centímetros. La construccion de la obra inferior al pozo deberá ser más esmerada, tanto bajo el punto de vista de su cimentacion, como el de los materiales que se empleen, á consecuencia de las presiones, choques y erosiones á que tiene que resistir por el salto del agua y por la carga correspondiente á la altura del remanso.

Aliviaderos. Cuando el pantano pueda recibir mayor cantidad de agua que la que permitan las condiciones de su construccion, se dispone un aliviadero, ó bien de fondo por medio de una compuerta, ó mejor de superficie en uno de los extremos y á la altura conveniente para la salida de las aguas sobrantes. Estas aguas, en lugar de formar vertedero, que con el salto destruiria el muro, se conducen de nivel por una curva del terreno, partiendo del mismo extremo del dique, pudiendo ser aprovechadas para el riego de los terrenos situados á la conveniente altura, ó conducidas á la misma galería de desagüe inferior, á la distancia conveniente del orígen.

PANTANOS CERRADOS POR DIQUES DE FÁBRICA.

Diques de fábrica. Para el establecimiento de los grandes depósitos hay que recurrir á la construccion de diques de fábrica.

Las presas de embalse pueden dividirse en dos clases: las que vierten por su coronacion el sobrante de las crecidas, y las que dan paso al agua por un vertedero lateral. Las pri-

meras deben limitarse á los casos en que la obra no tenga mucha elevacion y las aguas sobrantes sean de escasa importancia, porque, de no ser así, el choque contra el pié del muro de una gran masa de agua, cayendo de mucha altura, constituye una causa de destruccion importante, cualesquiera que sean las precauciones que para la defensa se adopten.

Prescindiendo del espesor que haya que dar á los muros para la debida resistencia, y de la naturaleza de los materiales empleados, es de la mayor importancia en el establecimiento de los grandes pantanos, que el terreno en que, de una manera *inmediata*, apoye el cimiento, posea condiciones de resistencia indefinida. La espantosa catástrofe ocurrida en 30 de Abril de 1802 por la ruptura del dique que cerraba el célebre pantano de Lorca, ruptura que produjo la muerte de 608 personas, la ruina de 809 casas y pérdidas en cosechas, ganados, etc., que se tasaron en 22 millones de reales, reconoció por orígen la poca firmeza del terreno sobre que descansaba el cimiento para resistir la presion enorme correspondiente á un embalse de 23 millones de metros cúbicos de agua con una carga de 47 *metros* sobre el pié del muro, determinándose en consecuencia la expulsion violenta del subsuelo donde se habian hincado los pilotes que servian de apoyo al macizo.

Perfil trasversal. El perfil trasversal de una presa varía segun el sistema de construccion que se adopte. Cuando tenga que verter las aguas sobrantes por su coronacion, el paramento posterior podrá ser vertical, ó tener un pequeño talud con objeto de evitar el choque del agua contra el mismo paramento. En este caso se puede determinar la cara de aguas arriba de modo que el macizo resista á los esfuerzos á que se halla sometido, obteniéndose por este medio un talud bastante tendido, siempre que se quiera reducir el ancho de la coronacion á sus menores proporciones. Si la presa está provista de un vertedero lateral, y se reduce, por lo tanto, á un muro de contencion, su perfil puede afectar distintas for-

mas: pueden hacerse los dos paramentos verticales; uno, ó los dos, en talud; puede establecerse en el posterior una serie de retallos que vayan disminuyendo el espesor desde la base hasta la coronacion, ó bien puede darse á dicho paramento una forma curvilínea correspondiente al mínimun de fábrica conciliable con la conveniente estabilidad.

No entraremos en detalles acerca del espesor que hay que dar á los muros de contencion de aguas en cada uno de los casos citados, limitándonos á indicar que las fórmulas correspondientes pueden verse en los tratados de mecánica aplicada á las construcciones, y en la mayor parte de los formularios modernamente publicados en España y en el extranjero. La construccion de los muros de contencion de aguas con paramento posterior curvilíneo, deducido del cálculo de la máxima presion correspondiente á las distintas secciones horizontales, puede estudiarse en la obra de J. B. Krantz publicada en París en 1870, que lleva por título *Étude sur les murs de reservoirs*. Pueden tambien consultarse los artículos publicados por el Ingeniero Sr. Boix en la *Revista de Obras públicas* correspondiente al año 1875 sobre la notable presa del Villar ántes citada.

Determinacion de la altura del dique. Para poder fijar con alguna precision la altura que hay que dar al dique de cierre de un gran pantano, suponiendo que se disponga del agua necesaria para el servicio á que se destine, se determina por curvas de nivel en el trayecto suficiente aguas arriba el relieve de la cuenca del rio ó arroyo en que se vaya á establecer el remanso. Hallada la superficie de esas curvas horizontales, se deducen los volúmenes comprendidos entre cada dos consecutivas, considerándolas como bases paralelas de un cono truncado, cuya altura es la distancia vertical que las separa. Estos volúmenes parciales permiten hallar el correspondiente á cada seccion horizontal á partir del fondo del rio; y el simple exámen de estos volúmenes pondrá de manifiesto entre qué dos curvas de nivel consecutivas está comprendida la superficie superior de em-

balse para una capacidad determinada. La fijacion precisa de este nivel se obtendrá fácilmente interpolando entre las dos curvas otra semejante que limite con la inferior el tronco de cono necesario para la formacion del volúmen previamente calculado para la capacidad del pantano. La altura así obtenida corresponderá al nivel del aliviadero de superficie, cuando se haya proyectado este procedimiento de descarga.

Suelen tambien calcularse los volúmenes parciales correspondientes á dos curvas de nivel consecutivas, suponiéndoles divididos en dos partes: un prisma cuya base es la curva inferior y la altura la distancia que separa los planos de ambas, y otro volúmen irregular cuya base es la diferencia de las áreas de las dos curvas, y terminado por una arista que es precisamente la curva de nivel inferior. Calculado este último volúmen por defecto, puede obtenerse aproximadamente multiplicando la base por la tercera parte de la altura.

Por las mismas razones indicadas al tratar de los diques de tierra, y por las especiales para este caso particular, en que la obra se halla establecida en un rio ó arroyo expuesto á crecidas considerables, convendrá dar al dique alguna mayor altura, con objeto de que nunca puedan salir las aguas sobrantes más que por el vertedero lateral.

Desde luégo se advierte que cuando el pantano tenga que llenarse con aguas de un arroyo de régimen muy inconstante y con las directas de lluvia, se deducirá la capacidad del embalse y la consiguiente altura del dique despues de hecho el aforo de las aguas disponibles, y del correspondiente estudio de los servicios á que éstas se destinen.

Desagüe de los grandes pantanos. Para el desagüe de los grandes pantanos suelen disponerse dos clases de galerias: una exclusivamente dedicada al servicio de los riegos, y otra á las operaciones periódicas de limpia del envase. Esta toma orígen en el punto más bajo del thalweg, y su seccion es proporcionada á la naturaleza del servicio que

tiene que desempeñar; la primera, en algunos sistemas de toma de aguas, suele situarse algo más elevada, con objeto de evitar que los sedimentos de las aguas la cieguen.

Los sistemas de toma de aguas más comunmente empleados en los pantanos de España pueden reducirse á dos tipos.

El primero, más frecuente en los grandes depósitos, consiste en disponer en el interior del dique uno ó varios pozos de una altura igual á la de éste, á los cuales vierte el agua del embalse por medio de series de boquetes ó aspilleras abiertas en el paramento, de dimensiones tales, que no permitan el paso de los cuerpos flotantes que pudieran obstruir las galerías inferiores. Estos pozos tienen en su fondo el arranque de la galería de desagüe, en cuyo trayecto, y á mayor ó menor distancia del paramento anterior, se halla situada la compuerta de servicio.

El segundo tipo difiere del primero en que el paramento de aguas arriba está rasgado en toda la altura del pozo, que es la misma del dique, y para practicar el embalse se cierra la abertura por medio de tabloncillos que se acuñan en unas ranuras laterales, y cuyas juntas se hacen impermeables interponiendo mástic de fontanero. El agua vierte por el borde superior del último tabloncillo, cuando hay sobrantes, y el servicio normal del desagüe se obtiene destapando algunos agujeros abiertos en los tabloncillos inferiores, que pueden volver á interceptarse para las intermitencias del riego, mediante el ajuste de unos tarugos cilíndricos ó ligeramente cónicos convenientemente sujetos.

CAPÍTULO XIII.

PANTANOS DE ESPAÑA.

La práctica del embalse de las aguas para su oportuna aplicacion al riego debió ser conocida en España desde la antigüedad más remota; pero la construccion de los pantanos, que por su importancia pueden compararse con los más célebres de las antiguas civilizaciones de Oriente, datan de una época relativamente cercana.

Vamos á describir uno de los más notables, como tipo de estudio para su construccion, servicio y maniobras, y á reseñar ligeramente los demás que ofrezcan algun interés entre los ya ejecutados, y entre los que no han pasado aún de la categoria de proyectos.

PANTANO DE TIBI.

El pantano llamado de Tibi, por hallarse situado en la jurisdiccion del pueblo de este nombre en la provincia de Alicante, es el más notable de los actualmente existentes en España, ya que no pueda negarse la supremacia entre los que fueron al tristemente célebre pantano de Puentes ó de Lorca.

La presa de Tibi, que cierra la garganta del mismo nombre en el curso del rio Monegre, data de últimos del siglo XVI (1579-1594), y su construccion se atribuye al insigne autor del monasterio del Escorial, el célebre arquitecto Juan de Herrera.

Además del rio Monegre, dan aguas al pantano numerosas fuentes que nacen en los términos de Onil, Castalla,

Ibi y Tibi, las cuales suman por término medio un gasto total de 200 litros por segundo, aumentadas con las que en épocas de lluvias lleva el arroyo de Jijona y los barrancos de Terabes, Vercheret y otros de menor importancia. La cabida total del envase se calcula en 3.700.000 metros cúbicos, destinándose las aguas almacenadas al riego de las 3.700 hectáreas que mide la huerta de Alicante. Las aguas que salen del pantano recorren una longitud de 10 á 12 kilómetros hasta llegar á la presa de Muchamiel, establecida en el orígen de la huerta, en cuyo punto principia el canal principal, del que se derivan otros secundarios.

Dimensiones, perfil y traza de la presa. La presa de Tibi está construida sobre bancos escalonados de roca caliza sumamente dura; su ancho en el fondo es de 9 metros y de 58 en la coronacion en su parte más estrecha; la altura, contada en el paramento de aguas arriba desde el arranque de la solera de la galería de limpia, es de 41 metros, y de $42^{m},70$ sobre la misma solera á su salida del paramento de aguas abajo.

La traza es un arco de círculo (figura 44) estribado entre las rocas, con la convexidad en sentido contrario al de la corriente; este arco de círculo, medido en la cresta del paramento de aguas, tiene una cuerda de 58 metros y una sagita ó flecha de $4^{m},0$ correspondiente á un radio de $107^{m},25$. El espesor del dique es de $33^{m},70$ en la base y de 20 metros en la coronacion. El paramento de aguas arriba es liso y tiene un relej de 3 metros; el posterior está dispuesto en gradería. La construccion es de mampostería y sillería perfectamente aparejada. Sus condiciones de resistencia están determinadas con mucho exceso, porque, suponiendo la traza recta, hubieran bastado 25 metros de grueso en la base y 15 en la coronacion. Los detalles de la presa y la disposicion de las galerias vienen indicados en las figuras 44, 45, 46, 47, 48 y 49. La figura 44 da la representacion geométrica de la planta, la figura 45 indica una seccion horizontal á la altura de las galerias, la 46 el paramento de aguas abajo, la 47 la cara de

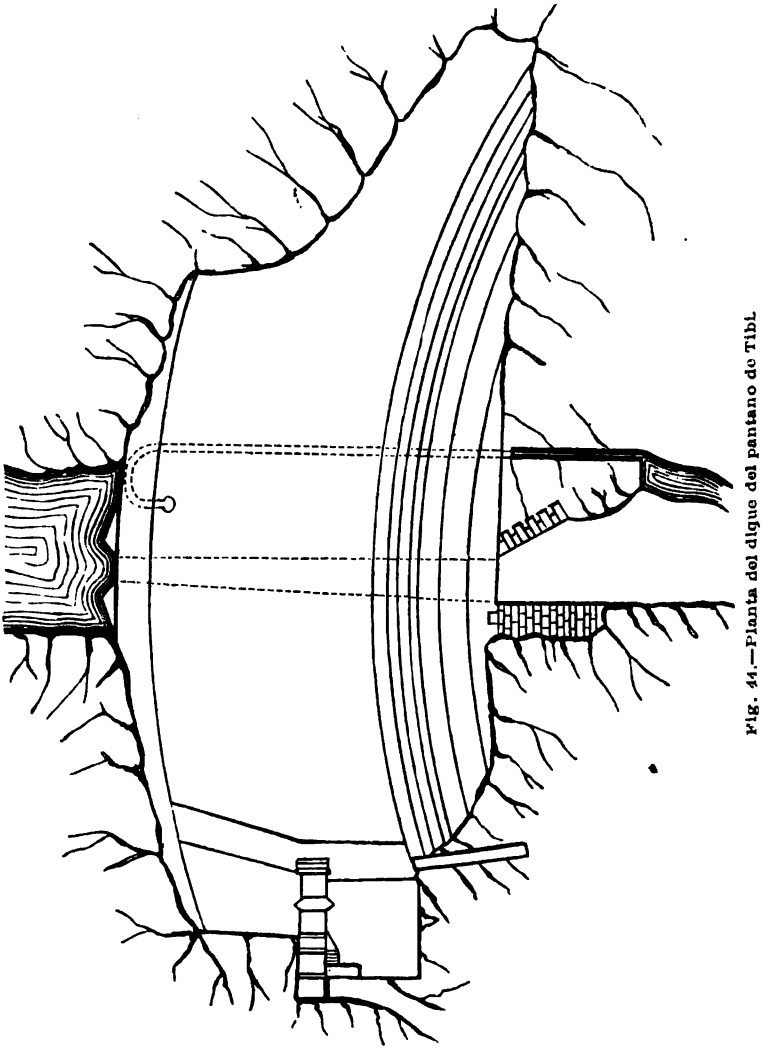


Fig. 44.—Planta del dique del pantano de Tibi.

aguas, la 48 una seccion trasversal por el eje de la galería de servicio, figurándose la seccion del pozo y la de las aspilleras, por más que dichas secciones no se correspondan en

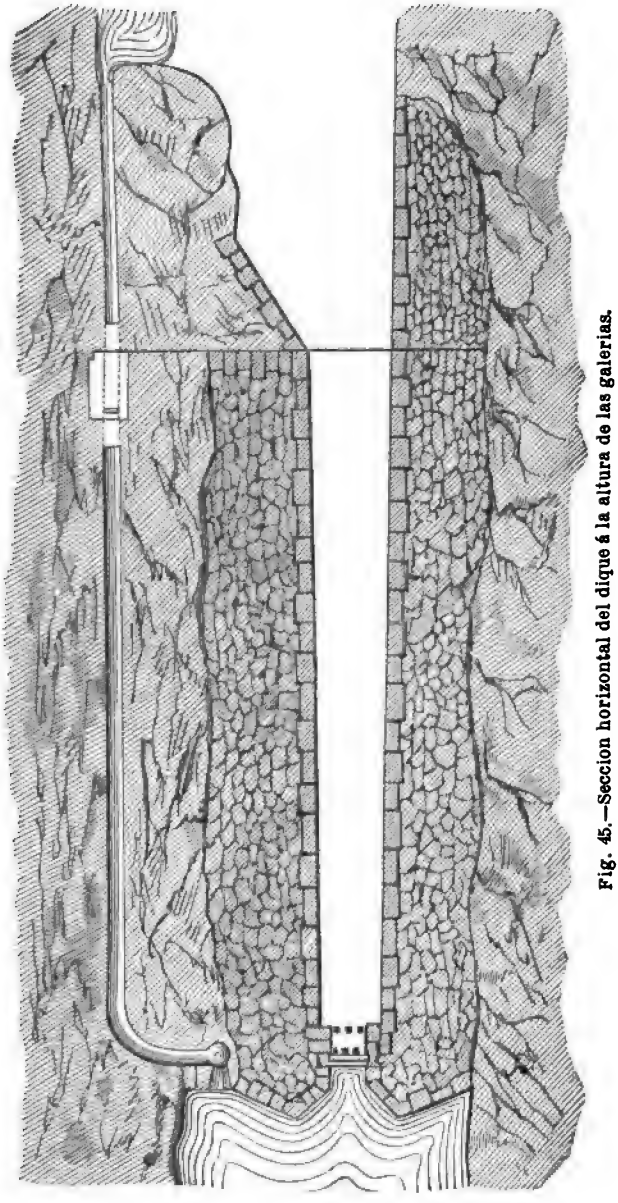


Fig. 45.—Seccion horizontal del dique á la altura de las galerías.

la planta, y la figura 49 representa un corte trasversal por el eje del desarenador ó galeria de limpia.

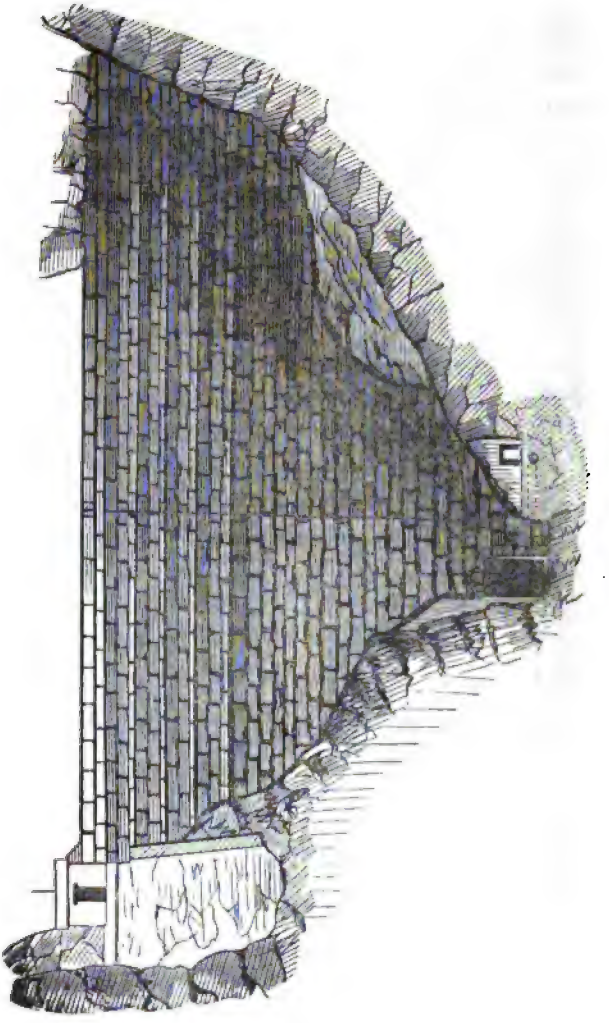


Fig. 46.—Paramento de aguas abajo.

Toma de aguas. La toma de aguas está dispuesta de la manera siguiente: á $0^m,60$ de distancia de la cara de aguas hay abierto un pozo d $0^m,80$ de diámetro, cuyo eje tiene la

misma inclinacion del paramento. En toda la longitud del pozo se practicaron 51 pares de aspilleras de $0^m,11$ de ancho por $0^m,22$ de alto, correspondientes dos á dos á la misma horizontal, y espaciadas entre sí de $0^m,30$; la distancia vertical que separa dos pares consecutivos es de $0^m,41$. El primer par de aspilleras empieza á la distancia de $6^m,88$ de la coronacion, y el último está situado 2 metros por cima del

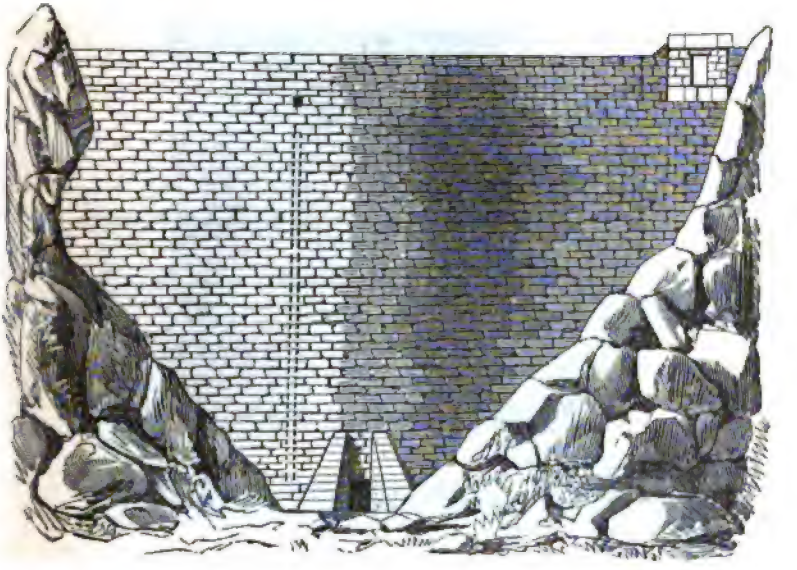


Fig. 47.—Paramento de aguas arriba.

fondo de la galeria. Hay además en la parte baja del pozo una gran abertura cuadrada de un metro de lado, cerrada por dos sillares de $\frac{1^m,00}{0^m,50}$, que en el momento de la limpia del depósito permite penetrar en la parte anterior de la galería de que luégo nos ocuparemos. Cada uno de estos sillares tiene en el medio una aspillera; de modo que la totalidad de los boquetes que establecen la comunicacion entre el paramento de aguas arriba y el pozo es de ciento cuatro.

Por el procedimiento indicado pueden las aguas entrar

en el pozo, cualquiera que sea la altura de los depósitos acumulados en el embalse, y las dimensiones de las aspilleras son bastante pequeñas para que por ellas no puedan penetrar los cuerpos flotantes de alguna importancia.

Del fondo del pozo parte una galería de $0^m,60$ de ancho por $1^m,70$ de altura, que conduce las aguas al exterior con una pendiente casi nula. Las dimensiones de esta galería dismi-

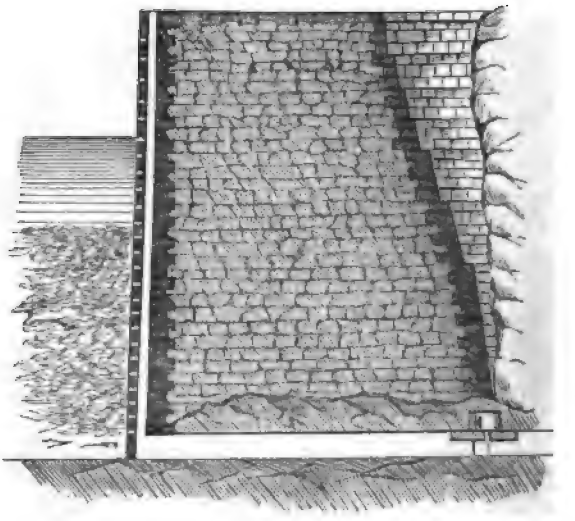


Fig. 48.—Seccion segun el eje de la galería de riego.

nuyen en su extremidad, dejando una abertura de $0^m,54$ de ancho (figuras 45 y 48) por $0^m,70$ de altura, interceptada por una compuerta de bronce para el servicio de los riegos.

La compuerta tiene un espesor de 5 centímetros, y sus dimensiones, no tomando en cuenta la parte comprendida en las ranuras del bastidor en que se mueve, son de $\frac{0,44}{0,66}$. En una esquina del mismo bastidor hay practicada una pequeña escotadura con el objeto de que, áun estando cerrada la compuerta, se produzca un pequeño escape de agua para impedir que los légamos que lleva en suspension obstruyan la ranura y la galería.

La maniobra se ejecuta desde una pequeña cámara abierta en la roca encima de la compuerta, y su mecanismo se reduce á un engranaje de cremallera que permite moverse el aparato por un solo hombre, áun cuando esté lleno el embalse. Afirma M. Aymard, de cuya obra *Irrigations du Midi de l'Espagne* tomamos estos datos, que estando cerrada la compuerta, y pesando sobre ésta una carga de agua de 16

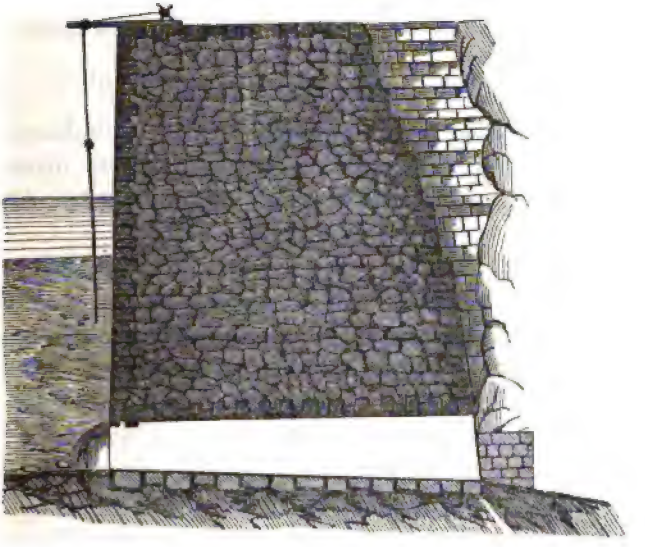


Fig. 49.—Corte segun el eje del desarenador.

metros de altura en el momento en que hizo la observacion, se producia un pequeño escape por encima de la compuerta al través del juego del bastidor, pero sin formar surtidor ni hervidero. Esta agua iba llenando lentamente el hueco de forma embudada atravesado por la cremallera, y vertia por un pequeño surco de 10 á 12 centímetros de ancho, abierto en el piso de la cámara, volviendo inmediatamente á caer por un pequeño agujero á la galería de salida á corta distancia de la compuerta.

Esta sencilla disposicion resuelve de una manera com-

pleta y satisfactoria el problema de una toma de aguas en un embalse sujeto á grandes sedimentaciones.

Desarenador. La galeria de limpia (figuras 44, 45 y 49) parte del eje del thalweg ó vaguada, y atraviesa el dique en sentido normal á sus paramentos. La abertura de entrada tiene $1^m,80$ de ancho por $2^m,70$ de altura, cuyas dimensiones se conservan en los $2^m,70$ primeros de la galeria (fig. 49). A esta distancia del orígen experimenta un ensanche brusco de $0^m,60$ en las dos dimensiones indicadas; de modo que su seccion pasa á ser de $\frac{3^m}{3^m,30}$, la cual va aumentando de una manera constante en todo su perímetro, inclinándose á la vez la solera, los muros laterales y la bóveda, hasta ofrecer una seccion de salida, en el paramento de aguas abajo, de 4 metros de ancho por $5^m,85$ de altura.

Esta forma embudada de la galeria en su trayecto inferior tiene por objeto facilitar la salida del tarquin acumulado en el envase, é impedir atascamientos que pondrian en gravísimo riesgo la vida de los obreros que intentaran removerlos.

Cerramiento del pantano. Junto á la abertura de entrada de la galeria se hallan colocados una puerta y una contrapuerta que cierran sólidamente el envase. La primera, que recibe el nombre de *porton*, está constituida por una serie de maderos de pino de $\frac{0^m,30}{0^m,30}$ de escuadría, empotrados en unas ranuras abiertas en la solera y en la bóveda, en las cuales entran uno á uno, ensamblándose y calafateándose una vez puestos en obra; el último madero que forma la clave, es algo más corto, y no encaja en la ranura superior. El *contraporton*, formado de piezas dispuestas en sentido horizontal y de la misma escuadría, va inmediatamente aplicado al porton, y encaja en unas ranuras abiertas en el umbral sin llegar á la parte superior, con objeto de permitir la maniobra de su colocacion y desarme. Está reforzado por tres piés derechos que se apoyan en la solera y en la bóveda,

los cuales se hallan á su vez estribados por dos tornapuntas que trasmiten los presiones á la solera.

Maniobra de la limpia del pantano. Antiguamente se practicaban las operaciones de limpia cada diez ó doce años, cuando la capa de tarquin llegaba á alcanzar un espesor de más de 20 metros; en la actualidad tienen lugar cada cuatro años, durante cuyo período el sedimento acumulado en el envase llega á adquirir una altura de 12 á 16 metros, altura que no guarda proporcion con la anterior, fenómeno que atribuimos á la menor superficie sobre que se extienden las primeras capas de sedimento. En este período el légamo adquiere cierta compacidad, de la cual depende la posibilidad de la operacion, siendo además indispensable para ella la existencia de una capa de agua de 3 á 4 metros de altura sobre los sedimentos.

La limpia se verifica durante la primavera, en el período en que las aguas de los manantiales que alimentan el pantano son abundantes; y se empieza desarmando el contraporton hasta dejar completamente expedito el acceso á la primera puerta. Se abre en ésta un agujero para asegurarse del estado de compacidad conveniente de los légamos, habiéndose observado que para poder llevar adelante la maniobra es suficiente el período de cuatro años adoptado. Se van debilitando poco á poco los maderos colocados junto á los muros laterales, y, notándose algun movimiento que acuse el descenso de la masa de légamos, se ponen inmediatamente en salvo los obreros, porque no pudiendo los maderos resistir á la presion que contra ellos se ejerce, serian arrancados y arrastrados por la masa puesta en movimiento, terminándose la operacion sin maniobras ulteriores.

Si no se observa el indicado fenómeno, se van debilitando lentamente y con precaucion los maderos; y cuando hay seguridad de que no se produce movimiento alguno, se les acaba de cortar rápidamente, apareciendo entónces al descubierto un muro de légamo compacto.

Terminada esta primera maniobra en la galeria, se tras-

ladan los operarios á la coronacion del muro, en donde instalan un largo madero formando pescante (figura 49) en la vertical correspondiente á la galería de limpia. Este pescante ó palomilla lleva en su extremidad una polea, por cuya garganta pasa una cuerda que se arrolla por un extremo en un torno de escape, y por el otro sostiene una barrena de 18 metros de longitud por $0^{m},06$ de escuadría, y cuyo peso viene á ser de unos 500 kilógramos. Haremos notar que cuando la operacion se practicaba con intervalos muy largos, á consecuencia de la situacion del orificio de sonda abierto por la barrena, entre éste y la superficie libre del légamo, en el orígen de la galeria, quedaba un espesor considerable de la masa que resistia al esfuerzo de la presion del agua, áun cuando la sonda hubiese llegado hasta el fondo. En este caso, ántes de proceder al sondeo con la barrena, era preciso practicar un hueco en la masa del légamo junto á la boca de la galería, de 1 á 2 metros de profundidad, segun se representa en la figura 49; pero, desde que se ha acortado la periodicidad de las limpias, se ha hecho innecesaria esta operacion previa, á tan graves riegos expuesta.

Fenómenos que se producen en el acto de la limpia. Cuando el orificio de sonda es bastante profundo para que el agua que por él penetra ejerza una presion superior á la resistencia de los depósitos inferiores, se inicia el movimiento de la masa. Al principio, miéntras que el agua actúa sólo por presion sin encontrar una salida libre, el tarquin avanza lentamente, llenando por completo la galería; pero al cabo de unos segundos, empezando el agua á abrirse paso al través de la masa, cambia rápidamente la escena: precedido de una detonacion violenta, comparable á la de un cañonazo, se precipita por la galeria un alud de agua y lodo con una fuerza de impulsion espantosa. El agua del pantano, saliendo con una velocidad debida á una carga de 12 á 15 metros, abarranca profundamente la masa del légamo, la conmueve hasta su fondo y en toda su extension, y la arrastra revuelta en espeso torbellino saliendo á caño

lleno por la boca de la galeria. La fuerza erosiva del agua, sin el auxilio de medios artificiales, basta para dejar completamente limpio el envase; sólo quedan pequeñas masas de légamo en algunos repliegues del terreno que se encarga de limpiar en pocos dias una cuadrilla de operarios destinados al efecto.

Tales son las maniobras que se practican para la limpia de los aluviones.

Merecen tomarse como tipo la forma de la seccion dada á la galeria, y el procedimiento ingenioso fundado en el uso de la barrena para llevar la presion directa del agua á las capas inferiores del tarquin, así como la adopcion del cierre de madera en lugar de una compuerta metálica movida desde la parte superior, que se maniobraria con dificultad á causa de las incrustaciones que naturalmente deberian producirse en las juntas durante los cuatro años que comprende el intervalo entre dos limpias consecutivas. El desarme del cierre no deja, sin embargo, de ofrecer un grave inconveniente, que podria corregirse sin dificultad, y es el relativo al riesgo que corren los operarios teniendo que cortarlo desde la misma galeria, expuestos á una muerte segura, si al caer el porton se produjera el descenso repentino de los légamos.

Este inconveniente se evitaria adoptando el procedimiento seguido para la limpia del pantano de Elche.

Pantano de Elche. Este pantano, de menor capacidad que el de Tibi, ofrece en su conjunto una disposicion análoga. La maniobra para la limpia es la misma usada para el anteriormense descrito, y sólo difiere en algunos detalles de la puerta de cierre del embalse, que permiten dejar expedita la entrada de la galeria, sin exposicion alguna por parte de los operarios. El porton, en lugar de encajar en ranuras abiertas en la solera y en la bóveda, como en el pantano de Tibi, está simplemente aplicado al batiente, y sostenido por tres traviesas horizontales que penetran en unas entalladuras practicadas en el muro.

Para la operacion de limpia se quitan á mano las travie-

sas inferior y superior, quedando la puerta únicamente sostenida por la del medio. En los extremos de esta traviesa se colocan dos tornapuntas provisionales, y quedando así sujeta, se la asierra por su mitad, se coloca otra tornapunta en el corte hecho y se quitan las provisionales, de modo que, en definitiva, queda la puerta sostenida por una traviesa aserrada por el centro, en cuyo corte se ha colocado un apoyo que trasmite la presion á la solera. El operario pasa entónces á una segunda galeria situada encima de la primera, en cuyo piso hay abierto un boquete circular de $0^m,60$ de diámetro, desde el cual, con el auxilio de un instrumento cortante de mango largo, se ataca el pié del apoyo situado en la galeria inferior. Derribada la tornapunta, caen tambien los dos pedazos de la traviesa, y desde el mismo sitio se derriba la puerta, para lo cual se ha sujetado una cuerda á una anilla fijada en su parte superior. Expedita la entrada de la galeria, se procede á la maniobra de la barrena en la forma ya descrita.

Para terminar el estudio de los pantanos haremos una relacion sucinta de los principales existentes en España, y de los que, segun nuestras noticias, se han proyectado en estos últimos años.

Pantano de Níjar. Hállase establecido este embalse de creacion reciente en una garganta del barranco del Carrizal, en las inmediaciones del pueblo de Níjar, provincia de Almería. Descansa el dique sobre roca resistente, tanto en el fondo como en los costados: su planta forma un arco de círculo de $43^m,89$ de cuerda y $3^m,06$ de sagita; su espesor es de $20^m,60$ en la base y de 9 en la coronacion. La capacidad del envase se ha aforado en 15 millones de metros cúbicos para el riego de 13.000 hectáreas á razon de dos riegos de 500 á 600 metros cúbicos al año; pero los resultados obtenidos distan bastante de lo calculado, porque el nivel del agua, segun el testimonio de persona competente, no ha llegado nunca á pasar de la mitad de la altura del depósito. La compañía concesionaria vende las aguas á los regantes á

tanto el volúmen, medido por medio de dos depósitos construidos aguas abajo del pantano.

Pantano de Huesca. Fué construido á fines del siglo XVII á unos 20 kilómetros de la capital en una de las gargantas que atraviesa en su curso el rio Isuela. El dique es de sillería desbastada; tiene una altura de 20 metros, 35 metros de longitud, 16 metros de espesor en la base y 11 en la coronacion. Su coste ascendió á 2 millones de reales, incluyendo en el mismo el de la compuerta de bronce que le cierra y cuyo peso es de 747 kilógramos. La capacidad actual del pantano se calcula en 1.178.000 metros cúbicos, con cuyo volúmen de agua se riegan 5.379 fanegas de huerta y 18.088 fanegas de cereales de año y vez.

Desde hace algunos años viene agitándose la idea de aumentar la capacidad del embalse, insuficiente en la actualidad para el riego de las tierras que las aguas dominan. Proyéctase levantar 5 metros la presa actual, lo cual no ofrece inconveniente bajo el punto de vista técnico, atendidos los espesores exágerados del muro. Con esta obra la capacidad del depósito recibiria un aumento de 1.582.000 metros cúbicos, quedando un total útil de 2.760.000, con cuya cantidad de agua podria cubrirse una extension de 2.760 hectáreas ó sea de 38.600 fanegas de á 12.000 varas aragonesas cuadradas con una capa líquida de un decímetro de altura. El mayor embalse producido por el aumento de la capacidad del pantano exigirá un aumento correlativo de terreno sumergido de 5,1640 hectáreas.

Aguas abajo del pantano de Huesca existe otro depósito denominado alberca de Cortes, que viene á ser el regulador de los riegos del primero, y en el cual se recogen además las aguas que caen en la cuenca del Isuela en el trayecto comprendido entre el pantano y el camino de Banastás. La alberca de Cortes está hoy completamente inutilizada á causa de las filtraciones que se producen á lo largo del muro que linda con el camino de Banastás. Las obras de reparacion de la alberca necesarias para que quedara ésta con una ca-

pacidad útil de 275.000 metros cúbicos, se hallan presupuestadas en 50.996 reales vellon. El presupuesto calculado para el aumento de la capacidad del pantano es de 300.000 reales, incluyendo en dicha cantidad el coste de la reforma de la acequia de Bonés, que conduce al pantano parte de las aguas que caen en la cuenca del Flumen, y que recoge aquélla en término de Argüis por bajo de la ermita de la Magdalena.

Pantanos de Lorca. El pantano de Puentes fué inutilizado á principios de este siglo, segun ya hemos indicado, á consecuencia de la ruptura del dique, y para su reconstruccion se han presentado á la aprobacion del Gobierno dos proyectos, ideado uno por el Ingeniero de Caminos D. Rogelio de Inchaurrandieta, y otro por el Ingeniero Sr. Monares. Por Real decreto de 13 de Junio de 1879 se autorizó al Ministro de Fomento para otorgar en subasta la concesion para la reconstruccion del pantano de Puentes segun el proyecto del Sr. Monares. Las obras deben concluirse en el plazo de tres años y la concesion se hace por cuarenta años. El concesionario podrá embalsar en el pantano todas las aguas que desciendan por el cáuce del rio Guadalentin, descontadas las que correspondan á propietarios particulares, y las que han de entregarse á los dueños de las tierras para los riegos con aguas turbias. Para los primeros saldrán del pantano 350 litros por segundo, equivalentes á 11.037.600 metros cúbicos por año. Se pondrá á disposicion de los segundos un volúmen de agua equivalente á 6.195.888 metros cúbicos por año en la estacion de otoño y en los dias que designe el sindicato de riegos de Lorca en union de los propietarios de tierras, mayores contribuyentes, oyendo al concesionario. Se facilitarán á los terceros los aumentos que en el caudal perenne del rio acusen los módulos que segun el proyecto han de establecerse. Las aguas restantes del pantano pertenecerán al concesionario durante el plazo de la concesion, vendiéndola al sindicato en la misma forma y condiciones en que actualmente verifica la venta de las de propiedad particular, te-

niendo en este concepto el concesionario la misma consideracion é idénticos derechos que los dueños particulares de las aguas del Guadalentin; pero en la inteligencia de que no podrán venderse las suyas miéntras existan disponibles otras que tuvieren dueños reconocidos. Por Real órden de 24 de Enero de 1880 se aprobó la subasta á favor de D. Pedro Pablo Ayuso, debiendo abonar el concesionario en la Tesorería Central la cantidad de 150.000 pesetas ofrecida en dicha subasta.

El pantano de Valdeinfierno se encuentra en la actualidad cegado, y por lo tanto sin uso. No sería grande obstáculo para el restablecimiento de este pantano el encontrarse su vaso lleno de tarquines, si no fuera, por otra parte, tan permeable su cuenca por hallarse en una formacion de caliza oolítica, á cuyo pié brotan los ricos manantiales de los Ojos de Luchena, fuente principal del rio de Lorca.

Acerca de estos dos pantanos entraremos en más extensas consideraciones en el TOMO II, cuando nos ocupemos de los riegos de Lorca.

Pantano de Almansa. Su construccion data del siglo XVI, y su disposicion y maniobras son análogas á las que hemos detallado al ocuparnos del pantano de Tibi. Está alimentado por las aguas perennes de cinco pequeños manantiales y por las eventuales de las lluvias. El caudal de las primeras permite regar una vez al año una extension de 350 hectáreas, y cuando la abundancia de las lluvias permite llenar el depósito, puede darse un riego anual á una superficie de 700 hectáreas dedicada á cereales.

El dique, de forma poligonal, tiene 89 metros de longitud por $20^{m},69$ de altura, y sus espesores son de $10^{m},20$ en la base y de $3^{m},98$ en la coronacion. La fábrica es de mampostería con revestimiento de gruesos sillares. Tiene una galería única de servicio y limpia de $1^{m},30$ de ancho.

Pantanos de la provincia de Logroño. Los más notables de la provincia de Logroño son el de Santo Tomás de Prejano y el de Añamaza, de orígen antiguo el primero y de

moderna construccion el segundo, los cuales riegan respectivamente 300 y 540 hectáreas.

Pantanos de Navarra. En Navarra merecen citarse: el pantano de Moguer, construido en 1628, cerca de la ciudad de Cascante, destinado al riego de 800 hectáreas de olivar de dicho término y del de Tudela. El de Cardete, construido en 1220, en jurisdiccion de Tudela, el cual sirve para el riego de unas 300 hectáreas destinadas á cereales. El de Lor, situado en jurisdiccion de Cascante, que riega unas 1.000 hectáreas de los términos de Pedris y Tudela, dedicadas á olivar en su mayor parte. Concluido debe encontrarse el pantano llamado de la Nava, destinado al riego de mil y tantas hectáreas, de olivar en su mayoría, de las jurisdicciones de Fitero y Cintruénigo.

Pantanos de Cataluña. De Cataluña sólo merece citarse el pantano de Puigcerdá, por más que el sistema de riegos *por restaño* se halle sumamente extendido, como consecuencia de la escasez de aguas corrientes y del sin número de trabajos de alumbramiento de manantiales, llevados á cabo desde épocas muy remotas, y continuados con afan en el período contemporáneo.

Pantanos proyectados. Los pantanos más notables que se han proyectado en estos últimos años, algunos de los cuales se encuentran en vías de ejecucion, son los siguientes:

Los de Santa Teresa, en la provincia de Avila, capaces de producir un embalse de 3 millones de metros cúbicos de agua con destino al riego de 2.050 hectáreas; el de Almochuel, en la provincia de Zaragoza, de una capacidad análoga, y cuya superficie regable mide 1.500 hectáreas; el de Híjar, en la de Teruel, de una capacidad aforada en 13 millones de metros cúbicos, con una superficie regable de 16.752 hectáreas, y cuyo presupuesto de construccion asciende á 6 millones y medio de reales; el de Gestalgar, en la provincia de Valencia, destinado al riego supletorio de la vega beneficiada por el Turia; el de Isber ó de Dénia, en la de Alicante, que, con un embalse aforado en 40 millones de metros cúbi-

cos, se calcula podrá regar una superficie de 12.000 hectáreas del marquesado de Dénia; y el de Portaloa, en la provincia de Almería, capaz de contener un volúmen de millon y medio de metros cúbicos de agua.

Por Real decreto de 7 de Julio de 1878 se autorizó al Ayuntamiento de la villa de Egea de los Caballeros, en la provincia de Zaragoza, para construir un pantano en el barranco de San Bartolomé, con objeto de fertilizar una superficie de 2.000 hectáreas. Se proyectó un dique de tierra de 14 metros de altura en el barranco. Se podrán derivar para la alimentacion del pantano 700 litros por segundo en aguas ordinarias del rio Arba, y mayor cantidad en invierno y en crecidas extraordinarias. Los vecinos de Biota podrán aprovechar durante dos dias y sus noches en cada semana toda el agua que conduzca la acequia de alimentacion del pantano.

Por Real decreto de 6 de Noviembre de 1878 se autorizó á D. Leon Beltran y otros vecinos de la villa de Monteagudo, provincia de Soria, para construir un pantano de riego en el sitio denominado «La Balsa de la Nava,» con objeto de fertilizar una superficie de 391 hectáreas. Las aguas de alimentacion del pantano deben derivarse de las que conduzca el arroyo llamado Regajo, en su totalidad en aguas ordinarias, y en cantidad de 22 metros cúbicos por segundo como máximo en las avenidas extraordinarias. El presupuesto de las obras ascendia á la cifra de 116.000 pesetas.

CAPÍTULO XIV.

ALUMBRAMIENTO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.

Importancia del estudio de los alumbramientos. El procedimiento de obtencion de aguas fundado en el alumbramiento de las que corren ocultas en el seno de la tierra, de suyo interesante en virtud de las inmensas y variadas aplicaciones de que es susceptible, adquiere una importancia de primer órden en los países que, como España, poseen pocas corrientes superficiales de carácter permanente, y áun éstas suelen quedar reducidas á caudales insignificantes en el período crítico del estiaje.

Fijándonos únicamente en los servicios que las aguas alumbradas pueden prestar á la agricultura, facilitando el riego *de pié*, cuando son abundantes, ó exigiendo el embalse en pequeños depósitos, cuando son escasas, se pone de manifiesto la importancia de aquéllos con sólo fijar la atencion en el sin número de pequeños aprovechamientos á que pueden dar lugar, y al valor que dichas aguas adquieren en nuestras zonas agrícolas, cuando, llegada la época del desarrollo de la vegetacion, escasean ó llegan á anularse las que la corriente superficial suministra. Una de las comarcas de España en que mayor número de trabajos de alumbramiento se han ejecutado es la rica y floreciente llanura conocida con el nombre de *Campo de Tarragona*, en cuyo subsuelo ha abierto el activo agricultor catalan numerosísimas galerías para llevar á la superficie las aguas que no pueden proporcionarle las enjutas ramblas que surcan el territorio. Son tambien muy frecuentes los trabajos de esta naturaleza en

todo el litoral de Cataluña, Valencia y Alicante, siendo digna de especial mencion la obra que tiene por objeto derivar una parte de las aguas subterráneas del rio Besós para el surtido de la acequia Condal, y el abastecimiento de la ciudad de Barcelona. Nos ocuparemos con algun detalle de esta obra en el TOMO II cuando estudiemos la cuenca del rio Besós.

No necesitamos encarecer con más extensos razonamientos la importancia del estudio que tiene por objeto la investigacion de los manantiales ocultos en el seno de la tierra, y la indicacion de los medios que pueden emplearse para sacarlos á la superficie, y pasaremos desde luégo á bosquejar esta interesante materia, á cuyo fin creemos oportuno exponer unas nociones prévias de Hidrografía subterránea.

NOCIONES GENERALES DE HIDROGRAFÍA SUBTERRÁNEA.

Orígen de los manantiales. El modo de formarse los manantiales se ha explicado de distintas maneras segun las diferentes fases que han ofrecido en su desarrollo las ciencias físico-naturales que sirven de fundamento al difícil estudio de la Hidrología, y segun las preocupaciones sistemáticas que han caracterizado á las varias escuelas filosóficas dominantes. No consideramos fuera de propósito exponer brevemente las hipótesis que en distintas épocas han prevalecido, ántes de sentar las bases de la verdadera teoría que explica la formacion de los manantiales, comprobada por la observacion y la experiencia, y demostrada por los modernos adelantos de las citadas ciencias.

Hipótesis principales. Resumiendo las opiniones de la mayoría de los filósofos griegos, pretendia Platon que todos los rios caudalosos vierten sus aguas á una inmensa sima que atraviesa toda la tierra, á la cual dió el nombre de Tártaro, y que de ella vuelven á salir para formar los mares, los lagos, los rios y las fuentes, pasando de nuevo por distintos conductos al depósito de orígen.

Aristóteles, y despues de él todos los maestros de la filosofía escolástica, opinaban que el agua se forma en el interior de la tierra en virtud del famoso principio de la trasmutacion, del cual hizo la alquimia tan frecuentes aplicaciones. Fundándose en dicho principio, suponian que el aire que ocupaba las cavidades subterráneas, condensado por la oscuridad y el frio, se convertia en agua. Para poner esta agua en movimiento se recurria á otra hipótesis tambien familiar á la antigua Física, que consistia en admitir *causas ocultas*. Para unos eran éstas *la influencia de los astros;* para otros *la propiedad vivificante de la arena pura*, de la cual resultaba *la circulacion de un mar visible en medio de otro invisible*; y otros admitian *la fuerza de proyeccion, la fuerza expansiva, la fuerza vital* de la tierra; en una palabra, esta fuerza oculta y misteriosa revestia las más variadas formas que es susceptible de modelar la imaginacion poética que con frecuencia sustituye á la fria razon en las lucubraciones de los antiguos filósofos griegos.

Algunas de estas teorías, fundadas en la observacion vaga y en la apreciacion errónea de ciertos fenómenos naturales, han llegado hasta la época contemporánea; así es que en un libro publicado en 1826 sobre la perforacion de los pozos artesianos por el Ingeniero americano M. Dickinson, libro que por otra parte contiene indicaciones útiles, se expone que las aguas subterráneas son arrojadas á la superficie en virtud de una fuerza expansiva resultante del calor central de la tierra, é independiente de toda accion gravitante. Algunos años más tarde el filósofo Azais, resucitando á la vez el principio de la trasmutacion y el de la expansion, se servia de ellos para explicar el ascenso de las aguas artesianas, surgiendo á la accion de la sonda lo mismo que la sangre del cuerpo humano brota de una vena herida por la punta de la lanceta.

Otro sistema análogo, al que va asociado el nombre del gran Descartes, supone que el mar es el depósito comun de las aguas; que éstas penetran en el interior de las tierras al

través de las cavernas que les facilitan el paso; que por filtraciones sucesivas van á llenar unas grandes cavidades situadas en el fondo de las montañas, y que de allí se elevan por la accion del calor terrestre para dar orígen á los manantiales y á los rios. La conversion del agua salada del mar en agua dulce de las fuentes y de los rios la explicaba Descartes atribuyendo á las cavernas interiores el oficio de alambiques que depuraban el agua de las sales disueltas; y La Hire, confundiendo los efectos de la filtracion con los de la destilacion, suponia que la tierra ejercia las funciones de un filtro que retenia las sales y facilitaba el ascenso del agua dulce por la accion de la capilaridad, á la manera que el terron de azúcar, en contacto con el agua en su cara inferior, se deja penetrar por el líquido en toda su masa. La crítica del siglo XVIII destruyó con su espíritu analítico tan erróneas como ingeniosas teorías.

El mismo Descartes, aleccionado por la observacion y por sus propios errores, expuso un nuevo sistema que ya habia sido iniciado por algunos sabios antiguos, Vitruvio entre ellos, sistema cuya verdad han acabado de poner en evidencia los últimos adelantos de la Meteorología, la Geología y la Mecánica en la época moderna.

Teoría definitiva. Segun esta teoría definitiva, las aguas evaporadas por el calor solar en la superficie terrestre, comprendiendo en ella la limitada por los mares, se difunden por la atmósfera y vuelven á caer condensadas en forma de lluvia, nieve, rocío, etc., sobre toda la extension de los mares y los continentes.

De la cantidad de agua que llega á la superficie del terreno por efecto de la lluvia y demas meteoros acuosos, prescindiendo de la que en forma de grandes masas de hielo se conserva en las mayores altitudes, una parte corre libremente por la superficie del suelo, otra se evapora volviendo á la atmósfera, directamente, ó despues de haber alimentado la vegetacion, y la restante se infiltra al través de las arenas, las gravas, las tierras ó las hendiduras ó sinuosidades

de las rocas compactas, volviendo unas veces á aparecer de nuevo formando los manantiales naturales, ó desapareciendo en el interior de la tierra para volver á salir por el fondo de los mares, obedeciendo en su movimiento y equilibrio á las leyes generales de la Hidráulica.

El deslindar cómo se distribuye la totalidad del agua procedente de los meteoros acuosos en las tres partes que hemos indicado, constituye un problema de solucion imposible en términos generales, á causa de la multitud de variables que comprende, variables cuyo valor es dificilísimo de concretar en cada caso. M. Vallés, autor de la conocida obra sobre inundaciones, compara la cantidad de agua suministrada por las lluvias y la absorbida por la superficie de algunas cuencas, resumiendo los resultados de las observaciones por él practicadas, y de las que hicieron otros Ingenieros, segun los datos que aparecen en el siguiente cuadro:

CUENCAS	ALTURA DEL PRISMA QUE REPRESENTA		
	La lluvia anual	La corriente superficial	El agua absorbida por los terrenos
	m	m	m
Sena	0,612	0,177	0,435
Saona	0,850	0,438	0,416
Garona	0,773	0,401	0,372
Ródano	0,922	0,580	0,342
Pó	1,220	0,781	0,439

de modo que los terrenos de la cuenca del Sena absorben el 71 por 100 del agua que reciben; los del Saona el 49; los del Garona el 48; los del Ródano el 37, y los del Pó el 35. En nuestro país no se han hecho investigaciones serias de este género; pero, á nuestro juicio, los cálculos de esta naturaleza son casi siempre aventurados: primero, porque no es fácil apreciar las modificaciones que puede experimentar la lluvia en los distintos puntos de la misma cuenca, si es algo extensa; porque además de la dificultad suma de apre-

ciar las pérdidas por evaporacion, que M. Vallés no toma en cuenta, son necesarios repetidísimos aforos del volúmen que suministra la corriente superficial; y finalmente, porque en este volúmen pueden englobarse las aguas que, pasando por conductos subterráneos, procedan de una cuenca distinta. Si las observaciones, en lugar de referirse á una gran superficie, se circunscriben á una pequeña zona, no son por esto ménos difíciles de resumir en números concretos, porque, además de la permeabilidad del suelo y del subsuelo, hay que atender á la configuracion de éstos, á la naturaleza de la cubierta exterior, y á las modificaciones que puedan introducir en el cálculo del agua filtrada, la periodicidad de las lluvias, su mayor ó menor intensidad, su distribucion, el estado higrométrico de la atmósfera, etc. Podemos decir en términos generales que la cantidad de agua meteórica que pase á la corriente subterránea dependerá en primer lugar de la permeabilidad del terreno, dependiente de sus condiciones mineralógicas y geológicas; de la pendiente; de la cubierta de la superficie y del régimen de las lluvias; y que, fijando como límites estremos de la escala un terreno llano de caliza cavernosa, cuyos sumideros tragan toda la corriente superficial, como el que cita el Ingeniero M. Belgrand en la Beauce (1), y otro impermeable y de grandes pendientes, el primero apénas dejará correr el agua en un corto trayecto desde el punto donde cae, y el último suministrará un volúmen escasísimo á la corriente subterránea, mayormente si está desprovisto de vegetacion arbórea, que, mullendo el suelo, facilite el acceso del agua á sus capas inferiores.

Ejerce una influencia marcadísima y perfectamente comprobada en la cantidad de agua absorbida y filtrada por el terreno la naturaleza del cultivo á que se halle afecto; y como la discusion de este tema importante nos haria traspasar los límites que para este capítulo nos hemos trazado,

(1) *Annales des ponts et chaussées:* 1852, pág. 191.

nos permitiremos recomendar la lectura de los seis artículos que sobre *Inundaciones* publicamos en 1871 en el tomo IV de la *Revista forestal, económica y agrícola*, en los cuales, entre otros importantes temas hidrológicos, tratamos extensamente de la influencia que el arbolado de las zonas forestales ejerce en la conservacion y aumento de los manantiales.

Modo de formarse los manantiales subterráneos y su division. Las aguas que penetran al través de los terrenos permeables, ó por las grietas y hendiduras de los impermeables, adquieren un movimiento de descenso obedeciendo á las leyes de la gravedad y siguiendo la direccion en que encuentran menores resistencias. Las evoluciones y rodeos que desvien el movimiento de las aguas del descenso en sentido vertical dependerán, por lo tanto, de las resistencias que encuentren en los conductos interiores del terreno permeable, hasta llegar á la capa impermeable que detiene ó modifica su curso. Si dicha capa inferior ofrece sinuosidades en su superficie, podrá una parte de la masa flúida filtrada quedar en reposo rellenando los huecos; pero el resto continuará su movimiento de descenso en relacion con la forma y pendiente de la superficie sobre que circula, y con el poder más ó ménos absorbente de dicha masa impermeable. Y aquí debemos fijar bien los términos de la permeabilidad y del poder absorbente, que suelen confundirse muchas veces, y que expresan, sin embargo, conceptos enteramente distintos. La arcilla, por ejemplo, absorbe el agua con avidez, pero cuando está saturada no le da paso; las arenas silíceas, por el contrario, con un poder absorbente casi nulo, es decir, sin empaparse los granos que constituyen su masa, dejan fácil paso al agua al través de los intersticios que dicha masa ofrece.

Las aguas que corren por las capas interiores del terreno presentan en su curso circunstancias sumamente variadas; pero para su estudio pueden reducirse á dos tipos principales:

1.º Corrientes subterráneas de superficie libre, es decir,

corrientes sobre cuya cara superior no se ejerce presion alguna independiente de la de la atmósfera, comparables á los rios y arroyos que fluyen á cielo descubierto.

2.° Corrientes subterráneas de curso forzado, las cuales llenan el hueco que dejan los intersticios del terreno permeable comprendido entre dos capas impermeables, y cuyas aguas se hallan sometidas á una carga debida á la existencia de un depósito situado á mayor altura.

Aun cuando estas dos clases de corrientes pueden salir á la superficie del terreno natural ó artificialmente constituyendo *manantiales*, reservamos esta denominacion para las corrientes del primer tipo, y designaremos á las segundas con el nombre de *aguas artesianas*, de cuyo estudio formaremos más adelante una seccion aparte.

Régimen de las corrientes subterráneas de superficie libre. Para el estudio de las corrientes subterráneas de superficie libre distinguiremos:

1.° Las que se producen sobre un lecho impermeable, plano ú ondulado, al través de una masa permeable formada de arena, grava ó de detritus resultantes de la descomposicion de las rocas.

2.° Las que tienen lugar al través de las hendiduras, grietas y sinuosidades cualesquiera, abiertas en las rocas compactas, sean éstas ó no estratificadas ó dispuestas en capas y bancos.

En el primer caso, moviéndose el líquido sobre una superficie ondulada, descenderá lentamente siguiendo la pendiente del lecho, formando avenamientos tanto más abundantes, cuanto mayor número de filetes vayan reuniéndose, y cuanto más importantes sean las ramificaciones que hayan confluido á las líneas principales de desagüe, de una manera análoga á lo que se observa en la formacion de las líneas de reunion de aguas en la superficie exterior del terreno. La velocidad de que estas aguas se hallen animadas dependerá evidentemente de las pendientes y de las resistencias que encuentren en su trayecto. Si estas aguas corriesen sobre

una superficie plana, impermeable, y al través de una masa permeable homogénea, formarian una capa ó manto de espesor uniforme.

Cuando el agua se mueve al través de las grietas, hendiduras ó sinuosidades de forma cualquiera, que ofrezca en su masa la roca impermeable, el régimen de la corriente subterránea dependerá de la forma y disposicion de estos conductos. Podrán estos constituir una red confusa, si las rocas no ofrecen indicio alguno de estratificacion, ó presentar cierta regularidad por tramos correspondientes á los distintos bancos, si son estratificadas, en cuyo caso las grietas, hendiduras ó cavernas establecerán por lo general una comunicacion directa entre los lechos correspondientes, sin que pueda afirmarse nada concreto ni preciso acerca de la marcha que seguirán dichas aguas en su movimiento.

En ciertas formaciones geológicas, especialmente en las calizas cavernosas cretáceas y jurásicas, aquellas sinuosidades suelen comunicar con espaciosas galerías y grandes cavernas, que en determinados casos ofrecen un lecho á verdaderos arroyos ó rios subterráneos, ó á grandes lagos, formando un sistema hidrográfico completo en comunicacion con el fondo de los mares, ó relacionado con las mismas corrientes fluviales exteriores.

La fuente de agua dulce que brota á grandes borbotones en la bahía de Jagua, á tres millas de las costa meridional de Cuba, citada por el baron de Humboldt; la fuente del golfo de Spezzia, descrita por Spallanzani, situada á 50 metros de tierra, que forma un montículo de agua dulce de 25 metros de diámetro por 3 ó 4 decímetros de altura en su punto culminante, estando la mar tranquila; el hervidero de agua dulce del cabo Martin en la costa de Mónaco, y otros muchos fenómenos análogos que citan los naturalistas, ponen en evidencia, no sólo la relacion que existe entre la hidrografía de los mares y la de los continentes, sino tambien la influencia que pueden ejercer las mareas en el régimen de ciertas fuentes que brotan en tierra firme.

Respecto á la desaparicion y sucesiva reaparicion de las corrientes fluviales externas, podemos afirmar que apenas hay país en que esta clase de fenómenos deje de producirse.

En Francia desaparece el Ródano en un corto trayecto, pasando al través de las cavernas del Jura; el Mosa se oculta en Bazoilles y reaparece en Nancourt despues de un curso subterráneo de cerca de 10 kilómetros, y el Drome, despues de haber perdido una gran parte de sus aguas corriendo sobre los sumideros del terreno calizo jurásico, desaparece por completo penetrando en la sima de Soucy.

En España han citado los Sres. Coello y Prado, y ha descrito (1) nuestro buen amigo y querido maestro el Inspector general del Cuerpo Excmo. Sr. D. Máximo Laguna y Villanueva, el *sumidero de Montejaque* y la *cueva del Gato*, grandes simas abiertas en profundos tajos en las inmediaciones de la ciudad de Ronda. Rompiendo y horadando el inmenso muro que se opone á su corriente, se precipita por el sumidero de Montejaque un pequeño riachuelo que baja de las vertientes de la sierra de Grazalema, el cual, segun las gentes del país, es el mismo que sale formando saltos y cascadas por la boca de la cueva del Gato, cuyas dimensiones son 30 metros de altura por 15 de ancho. El citado riachuelo, á corta distancia de su salida, y despues de formar un ancho remanso, se une con el nombre de *Guadares* al rio Guadiaro, aumentando el caudal de éste en un volúmen variable, segun los temporales, el cual no bajaba de un metro cúbico por segundo el dia 26 de Marzo de 1867 en que el Jefe de la Comision de la Flora forestal española visitó la cueva.

Este mismo fenómeno lo hemos visto reproducido en un arroyuelo que nace y muere en el pequeño valle de Barig, en la provincia de Valencia, de unos cuatro kilómetros cuadrados de superficie, verdadero cráter de depresion que no ofrece más salida á las aguas que caen en su cuenca que la

(1) Comision de la *Flora forestal de España*.—Resúmen de los trabajos verificados por la misma durante los años 1867 y 1868.—Madrid, 1870, pág. 11.

que les proporcionan algunos sumideros *(avenchs)* situados en el fondo de la hoya. Acerca de este valle y de las fuentes que en parte alimenta, y cuyo caudal aforamos, pueden leerse interesantes detalles y juiciosas observaciones en las páginas 73 y 74 de la *Memoria sobre la inundacion del Júcar en* 1864, presentada al Ministerio de Fomento por el excelentísimo Sr. D. Miguel Bosch y Juliá, Inspector general del Cuerpo de Ingenieros de Montes, á cuyas órdenes estuvimos en la Comision de estudio de las inundaciones de aquel rio.

No citaremos la desaparicion y reaparicion famosas del rio Guadiana, porque este fenómeno, exagerado por la tradicion é inmortalizado por la mágica pluma del gran Cervantes, no presenta analogías con los que acabamos de apuntar.

Las fuentes intermitentes son otro hecho notable que se explica, como es sabido, por la existencia de oquedades que comunican con el exterior por medio de conductos que desempeñan el papel de los sifones ordinarios.

Salida de las corrientes al exterior. Encontramos muy atinadas las observaciones que sobre este punto se hacen en el libro del Ingeniero Sr. Inchaurrandieta, que lleva por título *Aplicaciones de la Geología á la práctica del Ingeniero de Caminos* y nos complacemos en reproducirlas textualmente.

Dice así el Sr. Inchaurrandieta: «La manera de presentarse los manantiales nos revela con frecuencia algunas circunstancias del régimen de las corrientes. Generalmente aparecen en las laderas ó escarpes en que quedan al descubierto las cabezas de las capas por las que circula el agua, ó las grietas que les sirven de canal, ó bien se presentan en las depresiones de las llanuras, valles ó laderas, en que el nivel del terreno es inferior al de la capa acuífera, caso frecuente en el lecho de aluvion de algunos rios.»

»Si una corriente subterránea forma un manantial, el agua, aunque tenga una velocidad sumamente pequeña en

el interior de los terrenos, arrastrará en la inmediacion de la boca de salida algunas partículas de arena ó arcilla, ensanchando así los orificios por donde circula, favoreciendo el arrastre por el aumento de velocidad, y permitiendo que esta accion se trasmita poco á poco á mayores distancias del manantial. De aquí se infiere que el aspecto que ofrecerán algunos de estos manantiales, léjos de ser una capa que resuda en toda la extension que ofrece al descubierto, que es la idea que nace del carácter que debe tener la corriente en el interior de los terrenos, será el de uno ó varios caños más ó ménos abundantes, que salen en general por puntos situados en la línea de union de la capa permeable con la impermeable. Esta diferencia en el modo de presentarse y el régimen oculto de la corriente, merece una atencion muy especial, pues si, juzgando por las apariencias, se quisiese seguir la cañería por donde sale el líquido para recogerlo en un punto superior, se veria que aquélla desaparece á poca distancia del manantial, encontrando en su lugar una capa más ó ménos embebida de agua.»

No entraremos en consideraciones acerca del régimen de las corrientes de curso forzado, que reservamos para cuando bosquejemos el estudio de las aguas artesianas, y pasaremos en el capítulo inmediato á la investigacion de los manantiales propiamente dichos.

CAPÍTULO XV.

INVESTIGACION Y ALUMBRAMIENTO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.

Las breves consideraciones que en el capítulo anterior hemos hecho acerca de la manera de formarse las corrientes subterráneas de superficie libre, y acerca de las causas que determinan su espontáneo desagüe al exterior, constituyendo los *manantiales naturales*, ponen desde luégo en evidencia que una gran parte de aquellas aguas que, por no encontrar condiciones á propósito para su salida á la superficie del terreno, se pierden para las necesidades de la agricultura y de la industria, son susceptibles, por medios artificiales, de constituir el objeto de una *iluminacion* ó un *alumbramiento*.

En el problema de *iluminacion* de aguas debemos distinguir la *investigacion* y el *alumbramiento* propiamente dicho; ó en otros términos, la indicacion de los caracteres por medio de los cuales puede reconocerse la existencia y condiciones de las aguas ocultas, y el estudio de los procedimientos más convenientes para facilitar su salida á la superficie del terreno.

INVESTIGACION DE LOS MANANTIALES.

Objeto de la Hidroscopia. La investigacion de los manantiales, que algunos autores designan con el nombre de *Hidroscopia*, tiene por objeto determinar la situacion, volúmen y demás condiciones de las aguas que en estado de

reposo ó de movimiento existen en el seno de la tierra, mediante el conocimiento previo de la naturaleza y configuracion de la corteza visible, y el de la superficie que comprende la cuenca aparente de recepcion de las aguas que suministran los metéoros acuosos.

Relaciones de la Hidroscopia con la Geología. El problema de la investigacion de las aguas ocultas, planteado bajo la forma concreta en que acabamos de hacerlo, pertenece por completo al dominio de la Geología, y confirma nuestro aserto la opinion unánime de los autores modernos que teórica y prácticamente han estudiado tan difícil como interesante materia. Como testigo de mayor excepcion podemos citar al célebre abate Paramelle, autor de la conocida obra que lleva por título *L'art de découvrir les sources,* el cual manifiesta haberse dedicado por espacio de nueve años al estudio teórico-práctico de aquella ciencia, ántes de emprender la campaña de exploracion que comprendió un período de veinticinco años, y dió por resultado la investigacion de más de 10.000 manantiales.

De las someras indicaciones que sobre hidrografía subterránea hemos hecho en el anterior capítulo, se infiere que, para que puedan aprovecharse las corrientes ocultas, es preciso que exista una masa superficial permeable y suficientemente extensa que los alimente, y que ésta se apoye sobre un terreno impermeable, á una profundidad que permita efectuar el alumbramiento de modo que puedan conciliarse los gastos y las utilidades. El averiguar si estas condiciones quedan satisfechas en un caso concreto, equivale, como hemos dicho, á plantear un problema geognóstico, cuyas soluciones, dada la falta de fijeza de las prescripciones científicas, carecen necesariamente del carácter de generalidad que se les ha querido atribuir. En efecto, el conocimiento de la configuracion exterior del terreno y el de la naturaleza íntima de las primeras capas que le constituyen, áun cuando se parta del exámen de los cortes naturales que el mismo terreno ofrezca, no será muchas veces suficiente para poder

formar juicio de la composicion y estructura de las capas interiores, tanto á causa de las variadas combinaciones que la naturaleza presenta dentro de los límites correspondientes á las diversas edades geológicas, como por las modificaciones que pueden haber hecho experimentar á dichas capas interiores los grandes trastornos que por causas distintas han alterado la homogeneidad de la corteza terrestre.

Para el breve estudio que sobre Hidroscopia nos permite hacer la índole especial de nuestro trabajo, examinaremos las materias en el órden siguiente:

1.° Condiciones generales de los terrenos bajo el punto de vista de la existencia en los mismos de manantiales ocultos.

2.° Líneas que siguen las corrientes subterráneas.

3.° Puntos más convenientes para darles salida al exterior.

4.° Medios indicados para conocer la profundidad á que se encuentra un manantial en el punto elegido para su alumbramiento.

5.° Volúmen ó gasto de los manantiales.

Y 6.° Juicio crítico de las reglas propuestas desde la antigüedad más remota para la investigacion de las aguas ocultas.

Para esta parte de nuestro trabajo tenemos á la vista la obra citada del abate Paramelle, el exámen que de las teorías de este notable hidrógrafo ha hecho el distinguido Ingeniero D. Rogelio de Inchaurrandieta en el opúsculo que lleva por título *Aplicaciones de la Geología á la práctica del Ingeniero de Caminos*, y los datos que nos ha facilitado la lectura de las Memorias hidrológicas publicadas en los *Anales de puentes y calzadas* por algunos Ingenieros franceses, y la de las Memorias geognósticas relativas á varias provincias de España, respectivamente publicadas por la Direccion general de Estadística y por la Comision del Mapa geológico.

CONDICIONES GENERALES DE LOS TERRENOS BAJO EL PUNTO DE VISTA DE LA EXISTENCIA DE MANANTIALES.

Hemos dicho que una de las bases de que parte la Hidroscopia para la resolucion de los problemas de investigacion de manantiales es el conocimiento de la corteza exterior visible del terreno; resumiremos, por lo tanto, los caracteres generales positivos ó negativos que ofrecen algunos terrenos y rocas de naturaleza especial bajo este punto de vista concreto.

Terrenos eruptivos. Cuando los terrenos eruptivos constituyen mesetas ó laderas de poca inclinacion, y ofrecen en su superficie una masa detrítica de alguna potencia ó espesor, procedente de la desagregacion de la misma roca, lo mismo que cuando presentan hendiduras ó grietas numerosas, se dejan penetrar por las aguas hasta que éstas alcanzan la profundidad á que se encuentra la roca compacta.

Estos terrenos dan orígen á numerosos manantiales, que se distinguen en general por su escaso volúmen, por su curso subterráneo incierto, por su corta profundidad y por la inconstancia de su régimen. Tales son, por ejemplo, las fuentes del terreno granítico, las cuales, por lo mismo que afectan un carácter superficial, no suelen resistir á una sequía prolongada, y reaparecen en gran número bajo la accion de las menores lluvias.

Los terrenos volcánicos de naturaleza compacta y los formados por la acumulacion de lavas, cenizas y fragmentos del mismo orígen ígneo, no poseen, en general, condiciones favorables para un alumbramiento, puesto que, si constituyen una masa de estructura compacta y de naturaleza impermeable, no dan orígen á manantiales superficiales ni profundos, y si dicha masa es porosa ó grieteada, las aguas subterráneas alcanzan profundidades inasequibles á una iluminacion económica.

Terrenos metamórficos. *(Gneis, pizarras micáceas,*

pizarras arcillosas, cloríticas, calizas cristalinas, etc.)—Los terrenos metamórficos ofrecen condiciones de permeabilidad muy diversas. Como estos terrenos aparecen formando bancos ó capas, cuando poseen aguas subterráneas, corren éstas ó por la superficie de separacion de las distintas formaciones, ó por las hendiduras que forman los estratos.

En el gneis y en las pizarras cristalinas los manantiales suelen afectar el mismo carácter que hemos indicado al hablar de los granitos, es decir, suelen ser numerosos, poco abundantes y de régimen muy inestable.

Las calizas cristalinas (mármoles) y las dolomías metamórficas, á causa de las hendiduras que ofrecen en su seno, suelen dar orígen á manantiales abundantes y profundos.

Terrenos sedimentarios. Los manantiales de los terrenos primarios y secundarios suelen ser más abundantes que los de los terrenos más modernos.

Areniscas y arenas. Las areniscas, los terrenos formados de capas alternas de arena y arcilla ó de marga, y los aluviones de pequeño espesor, se prestan generalmente á los trabajos de alumbramiento, miéntras no sea excesiva la pendiente de la superficie impermeable sobre la cual corran las aguas ocultas.

Caracteres de permeabilidad de las calizas. *(Toba caliza, caliza tubular, celular, cavernosa, etc.)*—La mayor parte de las variedades de la caliza pueden ser en general calificadas de rocas permeables, exceptuándose sólo las de estructura compacta y homogénea, y por lo mismo casi todas son favorables á la práctica de los alumbramientos.

La toba caliza *(tosca* en catalan y valenciano) no sólo se presta, en virtud de su porosidad, á la formacion de las corrientes ocultas, sino que su presencia constituye un indicio precioso para la investigacion, por cuanto, debiendo su orígen á la sedimentacion de un manantial, no es muy aventurado suponer que éste no ha de hallarse muy distante.

En el capítulo anterior hemos dicho que ciertas calizas

cretáceas y jurásicas solian ofrecer en su interior una serie de conductos de diámetros variables, comunicándose entre sí y con espaciosas galerías y grandes cavernas; que éstas podian facilitar el curso subterráneo de verdaderos arroyos ó rios, ó servir de receptáculo á grandes lagos, constituyendo una hidrografía subterránea, relacionada unas veces directamente con el fondo de los mares y otras con las corrientes fluviales exteriores. La existencia de esas grandes oquedades se revela en unos casos por medio de signos externos bajo la forma de grandes simas abiertas en la roca, análogas á las que hemos citado de Montejaque, cerca de Ronda, ó al *Avench de la Doncella* en el valle de Barig, ó bien por una serie de depresiones alineadas en el fondo del valle, constituyendo *sumideros* (1) ó pozos absorbentes rellenos de tierra y aluviones *(boitards, bétoires* ó *boitouts* de los franceses); otras veces no ofrecen esos conductos carácter alguno exterior visible, á consecuencia de su pequeño diámetro, correspondiente á la estructura tubular ó celular de la roca.

Caracteres de las fuentes que nacen en las calizas que presentan oquedades. Los terrenos constituidos por las variedades de la caliza, que, atendiendo á su estructura, llamaremos *tubular, celular, cavernosa, caliza de torcas ó sumideros, etc.,* ofrecen como carácter comun la presencia de pocos manantiales, generalmente muy abundantes, tanto más caudalosos, cuanto menor es su número y cuanto más extensa es la superficie de la cuenca cuyas aguas recogen.

Fuente de Vaucluse. Una de las fuentes más notables y ricas de Europa es la de Vaucluse, que á mediados del siglo XIV inmortalizó con sus versos el divino Petrarca.

Al pié de un tajo de caliza neocomiana, de 200 metros de altura, que cierra el valle de Vaucluse *(vallis clausa)*, se ve surgir de profunda sima una imponente masa líquida, cuya trasparencia y frescura ofrecen singular contraste con el aspecto árido y agreste del paisaje inmediato. Esta oleada

(1) *Torcas* en la provincia de Cuenca.

líquida, cuyo caudal llega á veces á la cifra enorme de 120 metros cúbicos por segundo, se eleva primero tranquila y lentamente del fondo del abismo, y al llegar al borde de la roca que le sirve de vertedero, se precipita sobre un lecho cuya pendiente es de un 15 por 100 en los doscientos primeros metros de su longitud, y en el cual parece la naturaleza haberse complacido en diseminar enormes peñascos como otros tantos obstáculos puestos á su curso. Animada de repente esta masa de agua de una velocidad vertiginosa, y como irritada con los obstáculos que á su marcha se oponen, se precipita sobre ellos con furia y estrépito, y llenando el espacio de chorros de vapor y espuma conviértese en avasallador torrente ante el cual permanece el espectador como anonadado y confuso. Descompuesta la luz difusa en la flotante espuma, aparece el tinte verdoso característico de las aguas de la fuente, y cuando los oblícuos rayos del sol en su ocaso penetran la atmósfera de gotas de menuda lluvia que de la cascada se levantan, corona dignamente el sublime espectáculo la radiante aureola del arco iris.

Mitigada la furia de las aguas á corta distancia de la cascada, cambia la escena por completo, apareciendo formado el rio Sorgue, de mansas y siempre trasparentes aguas que se apresuran á aprovechar de consuno, la industria para el movimiento de sus artefactos, á los que suministra una fuerza de 1.726 caballos, y la agricultura distribuyéndola por fecunda red de canales de riego en beneficio de una superficie de 2.115 hectáreas, calculándose que el aumento de riqueza producido por las aguas de la fuente asciende anualmente á la cifra de 9 millones de francos. El Sorgue vierte sus aguas sobrantes al Ródano en la proximidad de Aviñon.

Cuando las lluvias han sido raras en la comarca que constituye la cuenca de recepcion de las aguas de la fuente de Vaucluse, el caudal de ésta va disminuyendo sucesivamente, y al llegar su nivel á la cota $21^{m},10$ de la escala hidrométrica allí establecida, quedan las aguas por bajo de su natu-

ral vertedero, y abandonando el álveo exterior se retiran al fondo de la gran caverna abierta al pié del tajo. Persistiendo la sequía, continúa el descenso del nivel de la fuente, y llega por último á reducirse la masa líquida visible á un tronco de cono invertido, cuyo diámetro superior y cuya altura no exceden de 10 ó 12 metros. En este caso la trasparencia del agua permite distinguir el interior de esta especie de embudo, en cuyo fondo se ve la boca de la galería subterránea que comunica con el interior de la montaña.

El dia 20 de Agosto de 1880 visitamos la fuente de Vaucluse. Está situada á unos 400 metros del pueblo de su mismo nombre, y se llega á éste en una hora haciendo el viaje en carruaje desde L'Isle sur Sorgue, estacion del camino de hierro de Marsella á París, situada 24 kilómetros ántes de llegar á Aviñon. En el dia de nuestra visita se hallaba la fuente en su período de estiaje; el nivel de las aguas marcaba en la caverna la cota $2^{m},20$ de la escala hidrométrica, y para llegar á la orilla del agua tuvimos que descender por una pendiente abrupta que arranca del borde del vertedero natural, y cuyo piso, formado de detritus de la roca arrojados por las aguas, no deja de hacer el descenso algun tanto peligroso. La temperatura del agua marcaba 12 grados centígrados. El primer tramo del cáuce de la Sorgue se hallaba en seco, y á unos 100 metros de la caverna brotaban en el mismo potentes hervideros que á los pocos pasos de distancia constituian íntegro el caudal del rio. Practicamos un ligero aforo de las aguas de la Sorgue y encontramos un volúmen de 9 á 10 metros cúbicos por segundo.

El caudal de la fuente en épocas de sequía excepcional como la del año 1869 no baja, segun el Ingeniero M. Bouvier, de $5^{m},50$ cúbicos por segundo: no suele ser inferior á 8 metros cúbicos en los estiajes ordinarios, y el gasto medio anual lo calcula el mismo Ingeniero en 17 metros cúbicos por segundo.

Se ha debatido por mucho tiempo la cuestion relativa á la procedencia de las aguas de la fuente de Vaucluse. Atri-

buyóse primero el orígen de estas aguas á la existencia de un lejano lago subterráneo; pero los progresos de la Geogenia y las revelaciones de la ciencia geológica hicieron bien pronto desechar esta hipótesis, incompatible además con las variaciones bruscas y frecuentes del caudal de la fuente.

La idea de que las aguas procedian de una derivacion subterránea de la Durance, gran afluente del Ródano, tuvo tambien numerosos partidarios. Verdaderamente esta segunda hipótesis se ofrecia al raciocinio con caracteres de mayor verosimilitud que la primera, puesto que el curso de la Durance describe una gran curva alrededor de la fuente á una distancia relativamente poco considerable, y atendiendo á que encontrándose el cáuce del rio, sobre todo en su parte superior, por encima del nivel de la fuente, no era absurda á primera vista la presuncion de que las aguas de ésta procedieran de las filtraciones de dicho rio. Es, sin embargo, difícil admitir que un volúmen de aguas tan considerable como el que la fuente suministra desaparezca del rio sin que en éste se note la pérdida, y esta objecion adquiere una importancia decisiva al considerar que en el dia 8 de Setiembre de 1854 el caudal de la Durance descendió á 55 metros cúbicos por segundo (1), miéntras que la fuente de Vaucluse seguia dando un volúmen que no bajaba de 12 metros cúbicos en la misma unidad de tiempo. Las observaciones organizadas desde el año 1874 por la Comision meteorológica de Vaucluse, de que es presidente M. Bouvier, han disipado todo motivo de incertidumbre, y por su virtud se ha puesto de manifiesto, mediante la comparacion de los gastos de la Sorgue y de la Durance, que si algunas veces existen analogías entre el régimen de ambos rios, analogías que la influencia meteorológica comun explica perfectamente, hay, no obstante, discordancias frecuentes y muy

(1) El caudal medio de la Durance es de 200 metros cúbicos por segundo en el puente de Mirabeau, distante unos 50 kilómetros de la fuente de Vaucluse.
En el estiaje oscila entre 69 y 100 metros cúbicos por 1''.

pronunciadas, que no se explicarian de una manera satisfactoria si entre los dos rios existiese alguna dependencia.

La verdadera explicacion del fenómeno fué dada hace veintiseis años por M. Bouvier, tio del actual Ingeniero jefe de Vaucluse y antecesor de éste en el servicio hidrológico del departamento, explicacion que ha sido plenamente confirmada por las observaciones que con la mayor precision y esmero han sido ejecutadas por el actual Ingeniero jefe en estos últimos años. El terreno neocomiano que forma la cuenca de recepcion de las aguas de la fuente de Vaucluse ocupa, segun nuestro distinguido amigo M. Bouvier, una superficie aforada de 165.000 hectáreas, en la cual no se encuentra manantial alguno, ni agua en los pozos, ni corrientes exteriores más que en el caso excepcional de ocurrir grandes lluvias, y áun entónces desaparecen pronto las aguas superficiales tomando el curso subterráneo al través de los grandes sumideros diseminados por toda la cuenca. Con razon decíamos al ocuparnos de la fuente de Vaucluse en la primera edicion de esta obra, que no podian considerarse dichas aguas como un don gratuito de la naturaleza, puesto que, además de lo manifestado, podemos añadir que en muchos pueblos enclavados en la cuenca de recepcion indicada no se dispone de más agua para las necesidades de la vida que de la que se procura recoger y conservar por medio de cisternas.

Desde el año 1874 están funcionando varias estaciones pluviométricas, distribuidas á diferentes distancias de la fuente y á diversas altitudes, en la cuenca de recepcion de la misma; y las observaciones recogidas hasta 1878 inclusive, gráficamente representadas por medio de curvas, han puesto en evidencia la perfecta correlacion existente entre la curva de las lluvias y la de las crecidas de la fuente, manifestándose además la rapidez y regularidad con que se relacionan ambos fenómenos. Un intervalo de veinticuatro ó de cuarenta y ocho horas á lo más, segun la distancia, es suficiente para que se trasmita á la fuente el aumento cor-

respondiente á la lluvia; de modo que, salvo el retraso debido á las resistencias experimentadas por las aguas en su curso subterráneo, la influencia que la lluvia ejerce en la crecida de la fuente es comparable á la que por la misma causa se observa en una corriente de agua cualquiera que fluya á cielo abierto. No cabe, por lo tanto, poner en duda que esa extension de terreno, en la cual casi instantáneamente se infiltran las aguas de lluvia, es la cuenca de recepcion de la fuente de Vaucluse, y en todo caso la única duda que pudiera ofrecerse versaria tan sólo sobre cuáles deben ser sus límites precisos ó su perímetro, en vista de las variaciones que pueda afectar su relieve geológico.

Relacionando la superficie de 165.000 hectáreas correspondiente á esta cuenca con la capa de lluvia anual caida en la misma, la cual ha sido por término medio de $0^{m},55$ en el quinquenio de 1874 á 1878, resulta un volúmen medio anual de agua de lluvia de 907.500.000 metros cúbicos. Por otra parte, las observaciones de aforo del gasto de la fuente, hechas en el mismo período, han permitido fijar en 17 metros cúbicos por segundo el gasto medio anual de la fuente, y tomándolo como tipo para la determinacion del volúmen suministrado por dicha fuente en todo el año, resulta ser éste de 536.112.000 metros cúbicos; de modo que el volúmen de agua de lluvia que ha pasado á la circulacion subterránea en la cuenca de la fuente de Vaucluse, es el 59 por 100 de la total caida en dicha cuenca. De estos datos se deduce tambien que la produccion media en aguas subterráneas es en este caso de 10,30 litros por segundo y kilómetro cuadrado, ó de 0,103 por segundo y hectárea, ó sea casi diez veces mayor, segun pronto veremos, que la calculada por el abate Paramelle para su cuenca tipo.

Es sabido que la caliza neocomiana está constituida por potentes bancos situados en la base del terreno cretáceo, y que esos bancos ofrecen en su masa considerables grietas y hendiduras, grandes conductos sinuosos ó irregulares y espaciosas cavernas que se hallan en mutua comunicacion, y

cuya disposicion general no guarda relacion alguna con el yacimiento de los estratos. Esas cavidades interiores aparecen en gran número en toda la faja de terreno neocomiano que se extiende desde la cordillera de Alpines hasta el Jura de Berna. Estas cavidades, en la época eocena, han dado con frecuencia paso á corrientes de agua ascendentes, las cuales han producido la acumulacion en la superficie del suelo de grandes depósitos de hierro hidratado, de arcilla refractaria y de arena, que se están explotando actualmente en algunas localidades. En el departamento de Vaucluse es frecuente encontrar todavía algunas de estas cavidades rellenas de hierro hidratado, y si además se tiene en cuenta que los depósitos formados por estas extravasaciones, los cuales constituyen los terrenos llamados siderolíticos, ocupan en dicha region vastas extensiones y llegan á formar en algunos puntos verdaderas montañas, se comprenderá fácilmente que si esta masa inmensa de materiales ha sido expelida del interior del terreno neocomiano inmediato, es preciso que sean inmensos tambien los espacios huecos que en el seno de la roca hayan quedado.

El Ingeniero M. Bouvier, circunscribiéndose á la porcion del terreno neocomiano que constituye la cuenca de recepcion de la fuente de Vaucluse, dedujo para un momento dado, y casi con una exactitud matemática, la superficie que ocupaba la cara de aguas del depósito subterráneo que alimenta la célebre fuente, estudiando la relacion mutua entre el gasto de la fuente observado durante un período de pertinaz sequía y el descenso del nivel de dicha fuente, correspondiente á la misma época. En 22 de Marzo de 1878, á consecuencia de una sequía casi absoluta que habia reinado desde principios de Diciembre del año anterior, el nivel de la fuente de Vaucluse marcaba la cota $0^{m},56$ de su escala hidrométrica; y siendo como es evidente que en un suelo tan permeable como el de la cuenca de recepcion de la fuente necesariamente debian haber cesado todas las filtraciones superiores al nivel subterráneo de las aguas, es obvio deducir que la alimenta-

cion de la fuente se debia entónces exclusivamente á las reservas existentes en las cavidades de la montaña. A pesar de ello, hasta el 29 de Marzo, es decir, durante siete dias consecutivos, el gasto de la fuente se mantuvo constantemente uniforme á 6,10 metros cúbicos por segundo, y el nivel de las aguas en la fuente descendió tan sólo en los siete dias de $0^m,11$. El gasto total de la fuente fué por lo tanto en el indicado período de 3.689.200 metros cúbicos, correspondientes á un descenso de nivel del depósito de alimentacion de $0^m,11$, de cuyos datos se deduce que la superficie ocupada por la cara de aguas de dicho depósito subterráneo era en dicha época por lo ménos igual á $\frac{3.689.280}{0,11} = 3.350$ hectáreas. Todo induce á presumir que éstos depósitos interiores deben alcanzar una gran profundidad, y hasta cierto punto confirma esta presuncion el reconocimiento de la galería de alimentacion que parte de la caverna, practicado en Marzo de 1878 por un buzo provisto de escafandra, el cual, venciendo peligrosos obstáculos, llegó á una profundidad de 23 metros, y pudo bajar una sonda hasta 30 metros, sin que pueda asegurarse en definitiva que fuera esta la máxima cota del depósito subterráneo.

Fuentes notables de los terrenos cretáceo y jurásico de España. En España podemos citar como fuentes notables del terreno jurásico la que da orígen al rio de los Santos, cuyas aguas utiliza la agricultura valenciana. En Mayo de 1865 aforamos este rio á los diez metros de la peña á cuyo pié aparece el primer manantial ascendente (*broll* ó *ullal* en Valencia), y encontramos que su caudal era de 2,043 metros cúbicos por segundo.

A la misma formacion pertenece la celebrada *fuente de Cella*, situada en el orígen del rio Jiloca, en la provincia de Teruel, de un volúmen de 2,5 metros cúbicos por segundo, segun el Sr. Coello.

Otros ejemplos notables, que confirman la abundancia de las fuentes que nacen en los terrenos cretáceo y jurásico, pueden verse citados en las Memorias geognósticas que sobre

las provincias de Teruel y Castellon ha escrito el catedrático de la Universidad central D. Juan Vilanova y Piera, así como en la *Descripcion física, geológica y agrológica de la provincia de Cuenca,* publicada por el Ingeniero de Minas D. Daniel de Cortázar.

El raciocinio y la experiencia están por lo tanto contestes en afirmar que los terrenos cretáceo y jurásico son en general poco á propósito para la investigacion y alumbramiento de manantiales; y, en efecto, por una parte el caudal notable que cada una de éstas posee se obtiene á expensas de su número; y por otra, su curso subterráneo incierto y la gran profundidad de su lecho exigen un estudio geognóstico muy minucioso y medios materiales de ejecucion, que suelen alcanzar proporciones económicas impropias de un proyecto ordinario de alumbramiento.

LÍNEAS QUE SIGUEN LAS CORRIENTES SUBTERRÁNEAS.

Nociones generales. Ya hemos indicado que para que en una region dada pueda existir una hidrografía subterránea bien definida, es condicion esencial la presencia de terrenos permeables que faciliten el paso de las aguas al través de su masa, y de otros impermeables que las obliguen á seguir un curso determinado formando su propio cáuce. Por la ligerísima reseña que de las diversas clases de terrenos acabamos de hacer bajo el punto de vista de sus condiciones de permeabilidad, se ha visto ya que unos terrenos son favorables y otros desfavorables á la formacion de corrientes subterráneas poco distantes de la superficie, y que, en términos generales, los que mejor se prestan á la formacion de dichas corrientes encauzadas son los terrenos estratificados.

En el estudio que de la cuestion indicada en el epígrafe hace el abate Paramelle en la obra ántes citada, se refiere casi exclusivamente á las aguas subterráneas que forman corrientes encauzadas, y por lo mismo no creemos ocioso,

para la mejor inteligencia de sus teorías, dejar previamente sentado un principio importante de estratigrafía, y es el siguiente: »Cuando en las dos laderas de un valle grande ó pequeño se repiten los mismos estratos ó capas, idénticos en composicion y del mismo modo situados, puede suponerse que son unos continuacion de otros, y que los que no hayan sido desgastados por las erosiones se comunican por el centro del valle, por más que los materiales que ocupan su fondo los oculten.» La figura 50 puede considerarse como la expresion gráfica de esta proposicion importante.

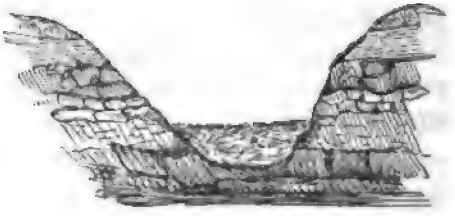


Fig. 50.

Fundamento de la teoría de Paramelle. El abate Paramelle establece como principio general y fundamento de su teoría sobre investigacion de manantiales, que las líneas que siguen las corrientes subterráneas no difieren en su direccion general, ni en el sistema que afectan, de las que determinan sus corrientes visibles. Supone además que en los terrenos estratificados los bancos que constituyen las dos laderas del valle están generalmente inclinados en el mismo sentido que dichas laderas, buzando unos y otros en el sentido del thalweg que marca la direccion de las aguas que corren á cielo descubierto. Cuando las dos laderas están formadas por terrenos no estratificados, añade, los filetes líquidos tienden tambien á dirigirse hacia el exterior, porque no ofreciendo obstáculo alguno á su desagüe el hueco que constituye el valle, encuentran dichos filetes menores resistencias para correr del interior al exterior por los conductos que han ido dejando expeditos las aguas precedentes, que para infil-

trarse indefinidamente al través de las masas sólidas y poco permeables de las rocas no estratificadas.

Ampliando estas ideas, establece dicho autor que la marcha de las aguas de lluvia por la superficie de un valle estrecho dibuja el sistema hidrográfico que existe á cierta profundidad; y que en los valles anchos las inflexiones y pendientes de los cursos subterráneos sólo ofrecen pequeñas diferencias, nacidas de las desviaciones que los obstáculos superficiales imprimen á las corrientes visibles. Fundándose además en el hecho de haber visto aparecer la mayoría de los manantiales naturales en la línea misma del thalweg, de repetirse idéntico fenómeno en las numerosas excavaciones practicadas durante su larga experiencia de investigacion de las aguas ocultas, afirma el distinguido hidrógrafo que, *salvo algun caso excepcional, en todo valle, rambla, barranco, cañada, desfiladero ó repliegue del terreno, existe una corriente de agua visible ú oculta.*

Carácter de excesiva generalidad que Paramelle atribuye á su teoría. Podríamos demostrar el carácter de excesiva generalidad que el abate Paramelle ha atribuido al lema fundamental de su teoría, entrando en un órden de consideraciones puramente especulativas que ya hemos ligeramente apuntado al principio de este capítulo; pero, en obsequio á la brevedad, indicaremos tan sólo que el estudio geognóstico de los terrenos ofrecerá una multitud de casos en que el thalweg subterráneo no guarde relacion con el visible, y que, sobre todo en nuestro país, en cuyos cortes geológicos se observan con tanta frecuencia las dislocaciones de los estratos, producidas por levantamientos ó por depresiones, tampoco será raro el que llegue á anularse la corriente subterránea del valle aparente, en virtud de la desviacion que hayan sufrido las aguas pasando, al través de los estratos dislocados, á una cuenca subterránea distinta.

Exámen de los casos más sencillos y frecuentes de las corrientes subterráneas encauzadas. No deja, sin embargo, de ofrecer algun interés el exámen de los casos

más frecuentes, que son precisamente los que más éxitos favorables han proporcionado á Paramelle en su larga práctica de investigacion de manantiales.

Cuando el fondo de los valles, cañadas y demás repliegues del terreno impermeable se halla recubierto por un prisma de materias detríticas ó de aluvion, los accidentes topográficos del terreno determinan la direccion del thalweg subterráneo. Si la masa permeable de aluviones depositada en el fondo del valle tiene el espesor suficiente, las aguas marcharán por el punto más bajo (fig. 51), llegando á una

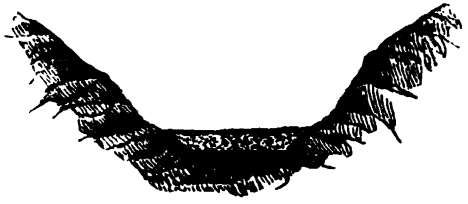
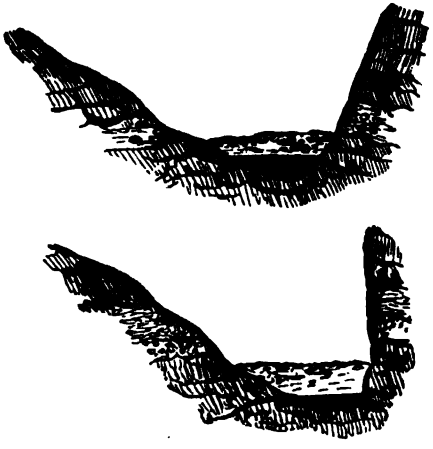


Fig. 51.

altura variable con la pendiente, con la superficie que comprenda la cuenca de recepcion, con la permeabilidad de las laderas, con la sequía, etc.



Figs. 52 y 53.

Si las dos laderas tienen la misma inclinacion, el cáuce de las aguas así interiores como exteriores ocupará el fondo del valle; cuando, por el contrario, una de ellas es mucho más rápida (fig. 52), el curso estará mucho más próximo á ella que á la opuesta, y por fin, cuando una de las laderas se presenta con los estratos muy inclinados ó casi verticales (fig. 53), entónces las aguas corren por su misma base y en el punto más apartado de la otra.

Si el macizo *aa* cuyo fondo rellenan los aluviones es permeable, segun se indica en la figura 54, las aguas se distri-

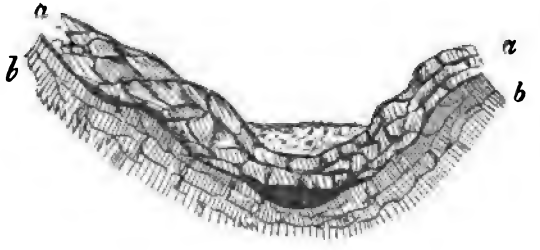


Fig. 54.

buirán entre las capas inferiores del aluvion y el punto más bajo de la roca permeable subyacente, ó correrán todas sobre la superficie del terreno impermeable *bb*, segun sea la pendiente del thalweg y segun el grado de porosidad relativo de las dos capas. En igualdad de circunstancias pasará tanta mayor cantidad de agua á la corriente inferior, cuanto menor sea la pendiente longitudinal del valle.

PUNTOS MÁS CONVENIENTES PARA EL DESCUBRIMIENTO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.

No todos los puntos que recorre un manantial en su movimiento subterráneo son igualmente ventajosos para proceder á su alumbramiento. Si las aguas corriesen paralelamente á la línea del thalweg visible, es evidente que admitida la concordancia entre la hidrografía interior y la exterior, las corrientes ocultas se encontrarian siempre á la misma

profundidad; pero como quiera que raras veces las dos líneas de reunion de aguas afectan idénticas pendientes, sobre todo tratándose de laderas que presenten muchos repliegues, hay necesidad de elegir la zona ó el punto más favorable para el alumbramiento. En términos generales el thalweg subterráneo suele afectar pendientes más uniformes y constantes que el visible, puesto que no se halla afecto á las causas que determinan la variabilidad de este último.

Puntos en que las aguas corren á menor profundidad. Los puntos en que un manantial subterráneo corre á menores profundidades, son, á juicio del abate Paramelle, los siguientes: 1.° El punto central y más bajo del primer repliegue del terreno, al cual convergen todos los filetes líquidos procedentes de una cuenca elemental, que suele afectar la forma de playa ó de circo. 2.° En los cambios de pendiente de la línea del thalweg exterior, correspondiente á los puntos en que á una fuerte inclinacion de la vaguada sigue una línea más débilmente inclinada. Y 3.° En los puntos en que el thalweg exterior desemboca en otra línea de reunion más importante.

La eleccion de esos puntos, independientemente del volúmen mayor ó menor de aguas que pueden proporcionar, en cuyo exámen luégo entraremos, ofrecerá la ventaja de facilitar el acceso al manantial, atravesando el menor espesor de terreno permeable, y de dar las aguas más encauzadas, puesto que, especialmente los puntos comprendidos en el segundo y tercer grupo, corresponden por lo general á los estrechamientos y angosturas del valle.

Manantiales de las montañas. No todas las fuentes se forman en el thalweg de los valles, cañadas, etc., sino que algunas se producen en las mesetas y laderas de las montañas y colinas.

Cuando una montaña ó una colina terminan en una arista ó en forma de cúpula, no pueden ofrecer manantiales en su punto culminante. Por regla general, y este principio es aplicable á las mesetas, no podrá haber manantiales en un

punto cuando el terreno que quede por encima de la curva de nivel correspondiente no ofrezca una superficie suficientemente extensa de alimentacion y condiciones de permeabilidad y de pendiente á propósito para ello.

Cuando las montañas se hallan terminadas por una meseta espaciosa, débilmente inclinada y recubierta por una capa permeable de algunos metros de espesor, apoyándose sobre otra impermeable, raras veces deja de producirse una fuente en su punto más bajo. Las lluvias y nieves, por lo general más frecuentes en las montañas que en las llanuras bajas, la extension muchas veces considerable de las mesetas, y la constitucion ordinariamente favorable de la capa detrítica superficial que las recubre, determinan la produccion de manantiales importantes en las mesetas, á los cuales no hay que atribuir otro orígen que el normal de esta clase de fenómenos.

Las montañas circulares que tienen ménos de 500 metros de diámetro en su base, ó una seccion equivalente bajo cualquier otra forma, cualesquiera que sean su altura y su constitucion geognóstica, no pueden dar manantiales, ó si los producen, son insignificantes.

Las vertientes de las colinas y montañas que tienen algunos kilómetros de espesor en su base, son susceptibles de dar orígen á manantiales abundantes, si la naturaleza de las rocas que las forman y la disposicion especial de las capas son favorables al objeto.

Exámen de las combinaciones estratigráficas más frecuentes. La práctica adquirida por el abate Paramelle en el conocimiento de los terrenos le permitia anunciar desde léjos, por el solo golpe de vista, las laderas que contenian manantiales, y fijar la existencia de éstos en los repliegues más pronunciados del suelo, maravillando á cuantos le rodeaban con la precision de sus afirmaciones.

Si una montaña ofrece la disposicion representada en la figura 55, las aguas se dirigirán indistintamente á cualquiera de las dos laderas.

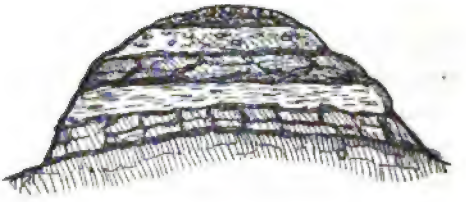


Fig. 55.

Si la disposicion de los estratos es la indicada en la figura 56, es evidente que los manantiales se encontrarán en

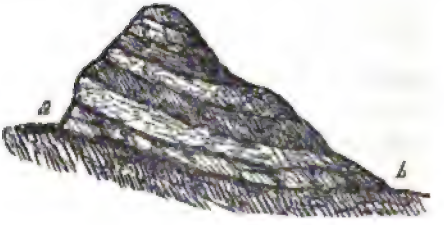


Fig. 56.

la vertiente *b*, puesto que la direccion de los estratos marca el curso subterráneo, y además, una parte de las aguas que caigan en la vertiente *a* pasarán al través de los bancos permeables á la ladera opuesta.

Podrá suceder, por ejemplo, que, conservando los estratos superiores la posicion indicada en la figura 56, se produzca un manantial importante en la ladera *A* cuando debajo de las capas permeables *BB* exista una capa impermea-

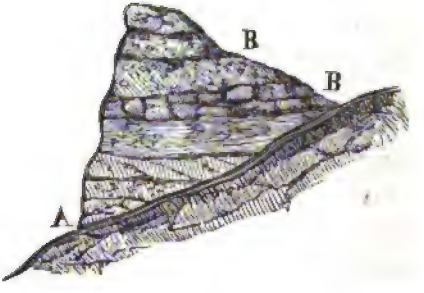


Fig. 57.

ble inclinada en sentido inverso, tal como se representa en la figura 57.

Las indicaciones generales que llevamos hechas, y el estudio del terreno darán luz suficiente en las muchas y variadas combinaciones que pueden ofrecer los terrenos estratificados para la eleccion de la ladera y del punto de ésta que más ventajas ofrezca para el alumbramiento de las aguas ocultas.

PROFUNDIDAD DE LOS MANANTIALES EN LOS PUNTOS ELEGIDOS PARA SU ALUMBRAMIENTO.

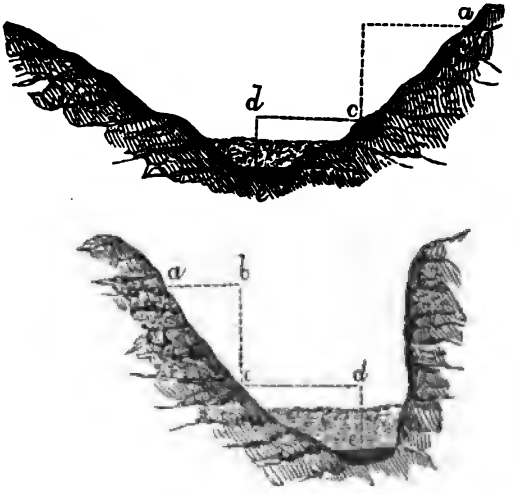
Profundidad de los manantiales encauzados. El abate Paramelle examina esta cuestion refiriéndose con preferencia á los manantiales que corren al través de los aluviones por el fondo de los valles más ó ménos abiertos, y distingue dos casos principales: segun que el manantial aparezca natural ó artificialmente en uno ó varios puntos del thalweg visible, ó segun que las aguas subterráneas permanezcan constantemente ocultas.

En el primer caso, los puntos en que el manantial se manifiesta al descubierto podrán dar, con el auxilio de una nivelacion, la pendiente general del thalweg subterráneo, la cual no diferirá comunmente de la del thalweg visible, puesto que sólo en casos excepcionales se presentan saltos y accidentes que alteran de una manera notable la correlacion entre ambas pendientes. Conocidas éstas, será ya fácil calcular aproximadamente la profundidad á que haya que bajar la excavacion en el punto elegido para el alumbramiento. Creemos ocioso advertir que cuando el manantial aparece al exterior con carácter ascendente, la nivelacion debe referirse al fondo del conducto vertical por donde se verifica el ascenso de las aguas subterráneas.

Cuando el manantial permanece constantemente oculto en toda la longitud del cáuce, ó cuando las aguas vivas aparecen á una gran distancia del punto elegido para la exca-

vacion, se puede determinar *a priori* la profundidad que hay que dar á ésta, calculando el espesor máximo de la capa formada por los aluviones. Este espesor corresponde en general á la arista de interseccion de las dos laderas prolongadas.

Si la pendiente de la ladera es uniforme, la profundidad del punto *e* (figuras 58 y 59) se obtiene previa la nivelacion



Figs. 58 y 59.

de una parte cualquiera *ac* del perfil trasversal, por medio de la igualdad $de = \frac{bc \times cd}{ab}$, que resulta de la comparacion de los triángulos semejantes *abc* y *cde*. La distancia horizontal *cd*, correspondiente al punto más bajo, se deduce de la forma de dicha seccion trasversal, y puede hallarse por aforo en el mismo terreno en vista de la inclinacion de las dos laderas, ó determinarse geométricamente construyendo el perfil de la parte visible y continuándolo en la parte oculta por los aluviones, conservando la misma pendiente de las laderas respectivas.

Se comprende que habrá muchos casos en que las reglas enunciadas no tendrán aplicacion, y serán aquellos en que, por la existencia de *fallas*, ó por el buzamiento de los es-

tratos de las dos vertientes, no corresponda el thalweg subterráneo á la línea de interseccion de las dos laderas.

Ocurre con frecuencia que el depósito de aluviones que rellena el fondo del valle está formado de capas alternativamente permeables ó impermeables; en este caso, si unas y otras constituyen una masa continua, habrá probabilidad de encontrar el manantial á una profundidad menor que la calculada por las pendientes de la seccion trasversal.

Profundidad de los manantiales que se forman en las mesetas y en las laderas. La determinacion *a priori* de la profundidad de los manantiales que se forman en las mesetas y laderas da lugar, en términos generales, á la resolucion de un problema difícil; porque envuelve una cuestion geognóstica, no siempre bien definida, y otra cuestion de cálculo, tanto más complicada cuanto más accidentada es la superficie que limita la capa impermeable que sirve de lecho á las corrientes ocultas. Si este lecho es plano, puede determinarse por medio de tres puntos elegidos en el mismo corte natural del terreno, cuando es posible hallarlos, ó por tres sondas abiertas en puntos convenientes; en cuyo caso, si hubiese necesidad de fijar la profundidad á que tendria que llegar la excavacion para un punto determinado é invariable, no habria más que referir éste y los otros tres puntos á un mismo plano de comparacion, quedando luégo reducida la cuestion á resolver un problema sencillo de acotaciones, que tendria por objeto hallar la cota del cuarto punto situado en el plano de los otros tres, y cuya proyeccion sobre el plano de comparacion es conocida.

VOLÚMEN DE LOS MANANTIALES.

Indeterminacion del problema. El volúmen de los manantiales no puede determinarse exactamente, por lo mismo que son extremadamente variables las causas que influyen en el gasto de las corrientes subterráneas. La mayor ó menor permeabilidad de los terrenos, dependiente de la

constitucion mineralógica y geognóstica, y de los accidentes topográficos, las condiciones climatológicas y otra multitud de causas que en otra ocasion hemos apuntado, no permiten dar reglas seguras para deducir el volúmen de un manantial cuando se conoce la extension de la cuenca de que procede.

Cuenca tipo citada por el abate Paramelle. El abate Paramelle reconoce, al ocuparse de este punto, lo indeterminado del problema, y se limita á indicar que, con objeto de adquirir nociones aproximadas del volúmen mínimo que puede suministrar un manantial de condiciones típicas, se dedicó durante mucho tiempo al aforo de las fuentes que nacen en las mesetas de las montañas y en las colinas aisladas, cuya cuenca de recepcion no podia dar lugar á dudas, y encontró como resultado de sus observaciones: que *en las mesetas que están recubiertas por una capa de materias detríticas permeables de 2 á 8 metros de espesor, descansando sobre una capa impermeable débilmente inclinada, una superficie de 5 hectáreas, en época de sequía ordinaria, puede dar orígen á un manantial de 4 litros por minuto.* A partir de esta cantidad, que toma como produccion ordinaria en aguas subterráneas de los terrenos más favorables á la formacion de los manantiales, reconoce que con la misma superficie, segun sean sus condiciones de permeabilidad, puede disminuir el gasto de las fuentes hasta llegar á cero, y que en algunas circunstancias, tratándose, por ejemplo, de terrenos muy poco permeables y muy accidentados, no bastarán 20 ni 100 hectáreas para que se produzca la fuente más insignificante. En España habria además que tomar en cuenta la influencia que lo abrasado de su clima ejerce en el agotamiento de las fuentes superficiales.

A pesar de que lo vago é indeterminado del problema no permite deducir fácilmente coeficientes aplicables á los distintos terrenos, pudo el célebre abate aforar *a priori* el volúmen de más de 10.000 manantiales, sin que los hechos vinieran á desmentir, más que rarísimas veces, la sagacidad y

precision de sus pronósticos. De tanto es capaz una observacion atenta é inteligente puesta casi diariamente en ejercicio por espacio de veinticinco años.

Comparacion entre la cuenca tipo de Paramelle y la cuenca de la fuente de Vaucluse. No daremos por terminado el exámen de este punto importante sin dejar sentados algunos hechos que se deducen de la comparacion del tipo adoptado por el abate Paramelle con otra superficie y otra fuente que ántes hemos citado; tal vez llamando la atencion sobre esta clase de fenómenos consigamos que las personas que se encuentren en aptitud de observar den algun dia noticia del régimen de las fuentes en algunas localidades de España.

Al tipo indicado por Paramelle de 4 litros por minuto para una superficie de 5 hectáreas, corresponde un gasto continuo de 0,8 litros por minuto y hectárea, equivalente á 80 litros por minuto y kilómetro cuadrado. Tomando como unidad de tiempo el segundo corresponde á la hectárea una produccion en aguas subterráneas de 0,0133 litros, y 1,333 litros á un kilómetro cuadrado de superficie.

Hemos indicado ántes que la produccion media en aguas subterráneas de la cuenca de recepcion de la fuente de Vaucluse es de 10,30 litros por segundo y kilómetro cuadrado ó de 0,103 por segundo y hectárea, ó sea casi diez veces mayor que en la cuenca tipo del abate Paramelle.

JUICIO CRÍTICO DE LAS REGLAS PROPUESTAS DESDE LA ANTIGÜEDAD MÁS REMOTA PARA LA INVESTIGACION DE LAS AGUAS OCULTAS.

El arte de descubrir las aguas que corren ó yacen ocultas en el seno de la tierra ha sido en todos tiempos y en todos los pueblos objeto de constantes investigaciones, á consecuencia sin duda de la necesidad en que se encuentra el hombre de procurarse aquel elemento indispensable para su vida. Las reglas prácticas para el descubrimiento de los ma-

nantiales, que fueron recopiladas por Vitruvio en la época romana, han sido textualmente reproducidas por Belidor en su *Arquitectura hidráulica* á mediados del siglo pasado, y por todos los autores, pocos en número, que modernamente han estudiado esta interesante materia, sin que la Hidroscopia haya adelantado un solo paso, hasta que, abandonando la antigua rutina, ha venido á apoyarse en los modernos adelantos de la Geología.

Todas las reglas propuestas para la investigacion de los manantiales tenian por objeto marcar los caracteres que determinan la presencia de la humedad en el suelo, objeto á todas luces insuficiente, puesto que aunque los caracteres señalados fuesen un indicio cierto de las aguas ocultas, no bastaban para deducir la posibilidad económica de un alumbramiento. La falta de indicios exteriores de humedad tampoco debia considerarse como carácter negativo para la investigacion, porque, conforme hemos visto, pueden existir á profundidades variables corrientes subterráneas importantes sin que éstas se revelen por medio de indicio alguno de humedad en el suelo.

Pero como quiera que entre los preceptos de antiguo conocidos haya algunos que convenga tomar en cuenta para completar el estudio geognóstico del terreno, haremos de ellos una exposicion sucinta, prescindiendo de los que, á nuestro juicio, carecen de fundamento racional que les sirva de base.

Indica Belidor muy oportunamente que los meses del año más á propósito para la exploracion de las aguas subterráneas son los de Agosto, Setiembre y Octubre, es decir, los más secos; y es evidente que, si entónces se encuentran aguas, puede contarse con la seguridad casi absoluta de que ya no han de faltar en el resto del año.

Indicios de humedad. La humedad relativa del suelo se manifiesta de una manera inmediata ó por medios indirectos.

Uno de los medios indicados para reconocer la existencia

de aguas ocultas, cuando éstas no se revelan por signo alguno exterior ordinario, consiste en dirigir desde el suelo y al empezar el dia una visual que enrase con la línea del horizonte; será indicio de humedad el ver flotar una masa de vapor junto á la superficie del terreno, ó agitarse en el mismo punto una columna de mosquitos.

Cuando por cualquier causa se sospeche la existencia de aguas subterráneas, sin que aparezca signo alguno exterior visible, otro de los medios propuestos consiste en abrir un pozo de tres piés de diámetro por cinco ó seis de profundidad, en cuyo fondo se coloca boca abajo una caldera untada de aceite: si, estando cubierto el pozo con tablas y tierra durante una noche, se observa á la mañana siguiente la formacion de gotitas en las paredes y en el fondo de la caldera, revelan éstas la existencia de una vena de agua en el terreno. Puede tambien hacerse constar la humedad del suelo colocando en el fondo del pozo en vez de la caldera una balanza higrométrica formada por una varilla terminada en una de sus extremidades por una bolita de madera porosa y absorbente, ó de otra cualquier sustancia higroscópica; la inclinacion de la balanza, por efecto de la absorcion del agua, pondrá de manifiesto la causa que la motiva.

Se da tambien como signo característico de humedad la presencia de ciertas plantas como juncos, carrizos, menta acuática, etc., que se desarrollan con preferencia en sitios húmedos; pero estos signos, lo mismo que los anteriores, fueron ya calificados por los filósofos antiguos de *falaz augurio*, ocasionado á frecuentes errores en las tentativas de investigacion de manantiales.

Varilla adivinatoria. *Zahoríes.*—Otro de los medios que desde épocas remotas y en todos los países se ha puesto constantemente en práctica para el descubrimiento de los manantiales es el que está fundado en el uso de la *varilla de Aaron* ó *varilla adivinatoria.* Se supone que esta varilla puesta en manos del hidróscopo, gira de cierto modo al pasar sobre las corrientes subterráneas; y si el procedimiento ca-

rece de fundamento racional que lo justifique, en cambio se ha prestado á explotar en gran escala la credulidad del vulgo y áun de muchas personas que pasan por ilustradas. Se ha querido atribuir el movimiento de la varilla á una sensibilidad especial de ciertos sujetos, á la aptitud de ciertos temperamentos para el desarrollo de corrientes eléctricas ó magnéticas, y modernamente se ha apelado, con poco discernimiento, á las teorías más elevadas de la Física para explicar la relacion entre las corrientes eléctricas ó magnéticas, que se supone determina el agua en su movimiento subterráneo, y las que se producen en la varilla puesta en manos del hidróscopo.

El uso de la varilla adivinatoria se halla bastante extendido en España, y los llamados *zahoríes* llegan en algunas provincias hasta á prescindir de ella; y afirmando que ven al través del suelo, responden á cuantas preguntas se les dirigen sobre los objetos que la tierra oculta á la percepcion de los simples mortales que carecen de tan singular privilegio.

ALUMBRAMIENTOS.

DIFERENTES SISTEMAS

Estudiados ya los caracteres que sirven para reconocer la existencia, volúmen y profundidad de las aguas subterráneas, y establecidas las reglas que han de guiar en la eleccion del sitio conveniente para su más fácil salida á la superficie del terreno, sólo nos resta ocuparnos de los procedimientos más comunmente empleados en la práctica de las iluminaciones.

Estos procedimientos pueden reducirse á tres sistemas elementales y á sus respectivas combinaciones. Los sistemas elementales son el de *presas*, el de *galerías* y el de *pozos ordinarios*. No incluimos en esta clasificacion el sistema fundado en el uso de los medios que comprendemos con la denomi-

nacion general de *saneamientos,* porque pensamos dedicar más adelante una atencion preferente á su estudio, cuando nos ocupemos del aprovechamiento de los terrenos encharcados.

El exámen de los tres sistemas indicados ha sido perfectamente resumido por el Ingeniero Sr. de Inchaurrandieta en el trabajo de que hemos hecho mérito, y la exposicion clara, breve y metódica que de ellos hace nos releva de la tarea de intentarla por nuestra parte.

Dice así el citado Ingeniero:

Sistema de presas. »Este procedimiento es el más generalmente empleado cuando las aguas que quieren recogerse corren por el fondo de un valle, barranco ó repliegue cualquiera del terreno, entre la masa de acarreo que lo rellena; pero de tal modo, que el nivel de la capa fluida queda muy inferior al del suelo.

»Claro está que sería igualmente aplicable á todos los casos en que, hallándose encauzadas las aguas subterráneas, las recubriese una masa permeable cualquiera; y su gran ventaja es el que pueda recogerse mayor caudal que con los otros sistemas que indicaremos.

»La figura 60 representa el corte longitudinal de un re-

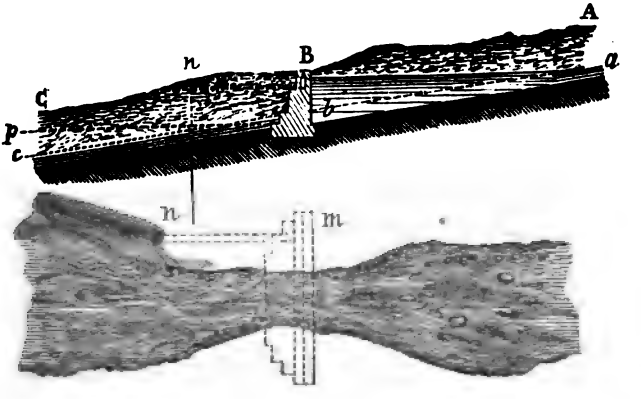


Fig. 60.

pliegue del terreno por donde desciende la capa acuífera, cuya superficie es *ac*, que se halla sostenida por la masa impermeable subyacente. El perfil del suelo es *ABC*.

»En el punto más conveniente se construye una presa *Bb* impermeable, y en su paramento se dejan mechinales para dar entrada al agua á un acueducto *m*; éste tiene una débil pendiente hacia uno de los extremos ó cabezas de la presa, desde donde arranca una galería que la conduce con el menor desnivel posible hasta ganar en *n*, por ejemplo, un punto de la superficie del terreno.

»El elevar las aguas con la presa tiene la ventaja de poderlas tomar en un punto próximo á la coronacion y disminuir así la longitud de la galería *mn*. Si no hubiese una completa seguridad de que este cambio en el régimen no introducia alguna modificacion desfavorable ó perjudicial, se haria el acueducto á la altura *b* próximamente, áun cuando se tuviese que aumentar mucho la longitud de la galería *bp*.

Sistema de galerías y pozos. »Este segundo sistema se halla muy indicado en todos los casos en que no se tenga un conocimiento perfecto de la línea que sigue el thalweg subterráneo, sabiendo sólo que hay una capa acuífera, pero no donde ofrece sus inflexiones. Con mayor razon es aplicable cuando dichas inflexiones no existen en toda la extension en que conviene hacer la iluminacion, y el agua corre formando un manto de espesor próximamente uniforme, ó bien en delgados filetes por las grietas de las rocas.

»La figura 61 indica las obras que deben ejecutarse. Demostrada por medio del pozo *p* la existencia de la corriente (es claro que tres pozos ó sondeos fijarian la posicion de una capa), se parte del punto más conveniente de la ladera, en general del que ménos diste del plano por donde corren naturalmente las aguas con una galería *bd*, que casi siempre se empieza por un desmonte ó trinchera más ó ménos largo. Como su destino es el conducir las aguas al exterior, la seccion que éstas han de mojar se hará de mampostería impermeable en toda la longitud, ó sólo en aquellas secciones en que el ter-

reno sea permeable. El fondo de la galería debe ser impermeable en toda la extension que atraviesa la capa acuífera hasta llegar al plano antes citado; lo contrario precisamente

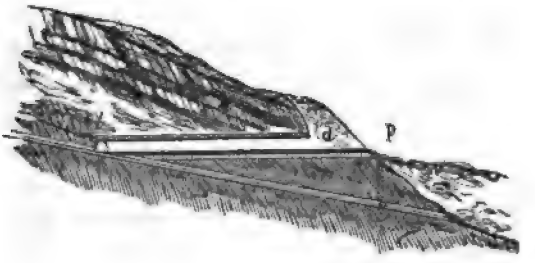


Fig. 61.

deberá hacerse con las paredes y bóvedas del acueducto. Desde un punto *b* de la galería situado dentro de la corriente, debe arrancar una nueva galería que corte trasversalmente la capa acuífera, y cuyo fondo tenga por uno y otro lado pendientes que conduzcan las aguas al punto *d*. En vez de una galería, si se viese que las aguas se manifestaban con preferencia en determinadas direcciones, se sacarian, segun las mismas, diversos ramales.

»Las galerías hechas en el espesor de la capa deben tener, en cuanto sea posible, su fondo á la altura de la capa que sirve de lecho natural á las aguas corrientes, ó un poco inferior á ella.

»La principal condicion á que deben satisfacer es la de favorecer la entrada del agua, y esto se conseguirá haciendo sus muros y bóvedas de piedra en seco ó con numerosos mechinales. A veces, cuando el espesor de los terrenos superpuestos no es muy grande, se practican zanjas en vez de galerias, y el fondo de las mismas se rellena de gruesas piedras en seco.

»Finalmente, en vez de las galerias trasversales ó radiales pueden hacerse pozos en varios puntos que parezcan favorables, y todos aquellos que den aguas abundantes se re-

unen en el punto *b* de la galería de salida por otras que tengan el menor desarrollo posible. Cada pozo recoge las filtraciones de una zona de más ó ménos radio segun la permeabilidad del suelo, y por lo tanto, por la galería *bd* pueden sacarse las correspondientes á una extension considerable.»

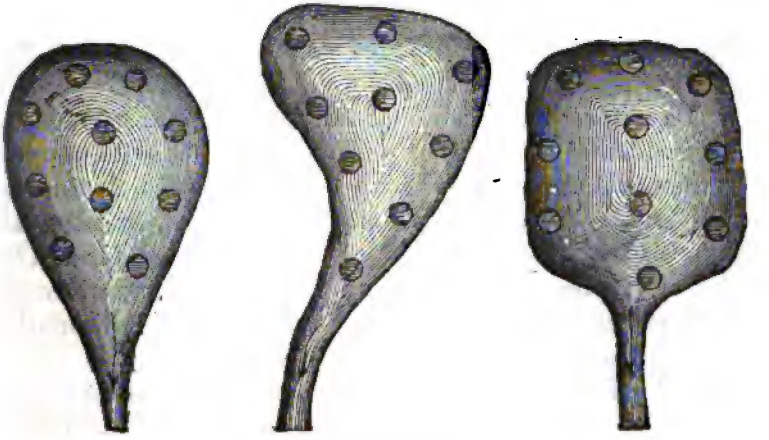
Alumbramiento de aguas en Lombardía. Las condiciones especiales de la zona comprendida entre las llanuras alta y baja de Lombardía, en la cual, á una profundidad de dos á cinco metros se encuentran abundantes aguas subterráneas discurriendo por un banco permeable de grava y guijarros, descansando sobre otro impermeable, dieron lugar desde tiempo inmemorial al aprovechamiento de los manantiales por un procedimiento sencillo que, con ligeras variaciones, ha venido practicándose hasta nuestros dias, facilitando el cultivo de los prados de invierno, al que debe aquella privilegiada region uno de sus más importantes elementos de riqueza. Nos referimos á la explotacion conocida en Lombardía con el nombre de *fontanile,* y que designaremos por analogía con las fuentes ascendentes de la huerta de Murcia con el nombre de *fontanillas.*

En los sitios en que se supone la existencia de un manto de aguas subterráneas se empieza por abrir un pequeño pozo de prueba hasta llegar á la profundidad á que dichas aguas se encuentran, y ocioso es que añadamos que cuando el cálculo sale fallido se intenta la prueba en otra parte. Encontrándose el nivel del agua descubierta á una profundidad tal que permita el aprovechamiento del agua en el riego de una superficie de terreno situada á un nivel inferior, se profundiza la excavacion hasta llevarla á un metro por bajo del nivel del manto. Llegado á este punto el ensayo, se marca con una señal invariable el nivel del agua en el pozo, y se afora la potencia de éste agotando las aguas y averiguando el tiempo que tarda el líquido en recobrar el nivel primitivo. Sirve de regla práctica para este aforo el dato en virtud del cual es explotable una fontanilla siempre que una superficie de un tercio de metro cuadrado suministre en el primer mi-

UNIVERSITY CALIFORNIA

nuto posterior al agotamiento un volúmen de agua de seis á siete litros.

Reconocida la actividad de la fontanilla se procede á la formacion de su *cabecera (testa di fontanile)*, que viene á ser un cuenco ó depósito en el cual se acumulan las aguas manantiales, y cuya forma varía con las circunstancias locales y con el número, distribucion y potencia de los avenamientos descubiertos. Las figuras 62, 63 y 64 dan por sí mismas



Figs. 62, 63 y 64.

suficiente idea de las formas ordinarias de la cabecera. La longitud de ésta suele ser de 80 á 100 metros y su ancho máximo de 10 á 40, estrechándose sucesivamente hasta adquirir el ancho normal de la zanja de conduccion ó de desagüe *(asta di fontanile)*.

En cuanto á la direccion que conviene dar al eje de la cabecera, opinan unos que es preferible dirigir dicho eje paralelamente al curso subterráneo de los filetes líquidos afluyentes al cuenco, con el fin de aprovechar la posibilidad de que algun avenamiento vaya á brotar en la misma zanja de desagüe, aumentando de este modo el caudal de la fontanilla, y sostienen otros como más conveniente la direccion del eje de la fontanilla perpendicular al curso presumible de las aguas subterráneas á fin de poder cortar mayor nú-

mero de avenamientos. Creemos por nuestra parte que no puede fijarse en absoluto cuál de los dos procedimientos sea más conveniente, y que las circunstancias dicidirán en los casos respectivos, recordando lo que anteriormente hemos expuesto acerca del movimiento subterráneo de las aguas.

Hemos dicho anteriormente que al ensanchar la excavacion debe profundizarse hasta un metro por bajo del nivel del agua; sin embargo, en el caso en que por esta causa resultara una pendiente insuficiente para la zanja de desagüe, puede llevarse la profundidad de la excavacion á $0^m,50$ ó á $0^m,30$ por bajo del indicado nivel.

La naturaleza y disposicion de las márgenes variará con los accidentes topográficos y con el grado de cohesion del terreno; así es que se recurrirá á la construccion de muretes de sostenimiento, á la formacion de estacadas, empalizadas, enfajinados, ó se dejarán las márgenes sin apoyo dando á las tierras taludes muy tendidos para evitar los derrumbamientos y sus consecuencias, segun las circunstancias aconsejen en cada caso.

Si hubiera probabilidad de que aparecieran avenamientos en las márgenes del desmonte, se procurará dejar mechinales para el desagüe en el caso en que se hubiesen construido refuerzos de fábrica, segun se indica en la figura 65, y

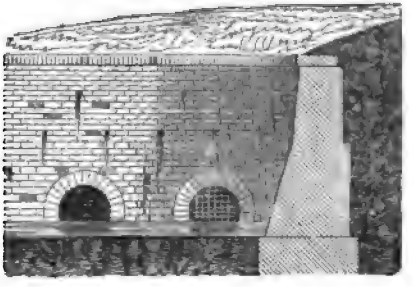


Fig. 65.

habiendo empleado el enfajinado se dispondrán los materiales, como se indica en la figura 66, formando fajas alternas y cruzadas perpendicularmente, á fin de que el agua encuentre

fácil salida por los huecos que queden en el revestimiento.

Al fondo de la cabecera de la fontanilla se le da una ligera inclinacion en el sentido de su eje, con el objeto de

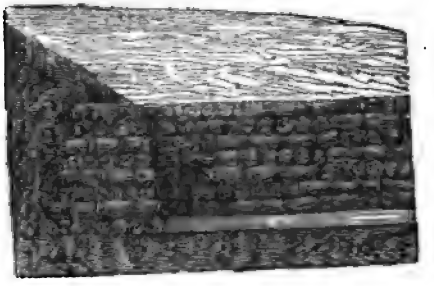


Fig. 66.

que cuando las aguas escaseen se acumulen en una pequeña superficie y resulten menores pérdidas por evaporacion; y en todos casos se da al eje del cuenco de cabecera una pendiente menor que la de la zanja de desagüe.

Llegadas las operaciones de descubrimiento del manantial al punto que dejamos indicado se suspenden los trabajos por algunos meses, durante los cuales se observa atentamente cuáles sean los puntos de la cabecera en que brote el agua

Fig. 67.

con mayor abundancia. En estos se introducen despues unos toneles sin fondo *(tini* ó *tinelli)* de forma tronco-cónica, figura 67, sentándolos sobre la base de mayor diámetro. Sus di-

mensiones varian segun la distancia relativa á que se producen los avenamientos: ordinariamente los diámetros de las bases del tronco de cono son respectivamente de $1^{m},20$ y 1 metro, su altura suele ser de 2 á 3 metros, y el grueso de las duelas de 4 á 5 centímetros.

La hinca de los toneles se verifica desmontando el terreno por el interior de los mismos, una vez colocados en el sitio que deben ocupar, y teniendo la precaucion de suspender la hinca al encontrar una capa impermeable, á fin de no ex-

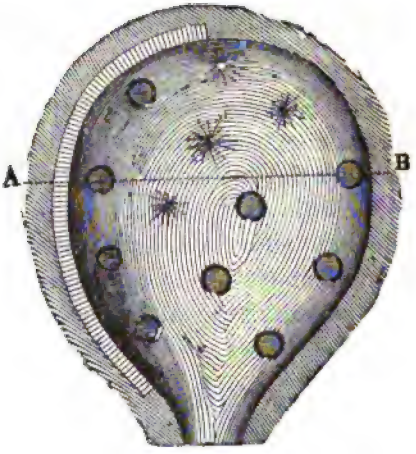


Fig. 68

ponerse á perder las aguas de la fontanilla por dispersion al través de otra capa permeable subyacente. Claro es que en el caso en que la base del tonel descanse sobre un fondo impermeable convendrá practicar agujeros en sus paredes á fin de facilitar la introduccion del agua en su interior.

Introducidos los toneles en el suelo, debe quedar su borde superior 7 ú 8 centímetros por encima del nivel del agua, y en dicho borde, y en la parte que mira á la zanja de desagüe se abre un hueco de ancho proporcionado á la cantidad de agua que se vea brotar.

Para que los manantiales conserven su actividad convendrá dragar todos los años el fondo de los toneles, y limpiar asimismo los fondos en todos los puntos de la fontanilla en que broten con más ó ménos fuerza las aguas. Convendrá asimismo dar al primer tramo de la zanja de desagüe una pendiente bastante fuerte para que el nivel del agua en el cuenco determine la menor carga posible sobre el plano de desagüe de la fontanilla.

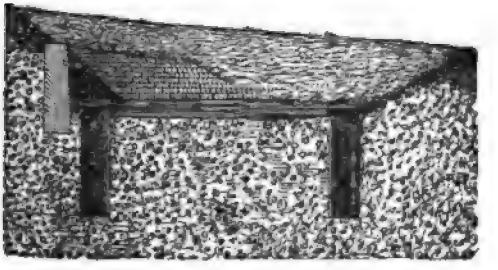


Fig. 69.

Las figuras 68 y 69 representan respectivamente la planta y el corte vertical de una fontanilla de la provincia de Brescia en Italia.

El caudal que suministran las fontanillas en Lombardía es muy variable; pero segun el Sr. Chizzolini, de cuya obra *Delle ricerque ed utilizzazione delle acque di sorgenti* tomamos estos datos, el término medio es de 100 á 140 litros por minuto, citándose algunos que llegan á dar 12, 14, 18 y hasta 24 metros cúbicos por minuto.

PRODUCCION ARTIFICIAL DE MANANTIALES.

No daremos por terminado el estudio de los alumbramientos sin dejar consignado un fenómeno notable, tal vez único en su clase, que viene realizándose en España desde la época de la dominacion árabe en la region superior de la cuenca del rio Guadalfeo.

A media legua del nacimiento de este rio se encuentra

establecido el celebrado riego *por cimas*, debido, segun tradicion, al genio de los moros; y Mecina de Buenvaron, aldea situada en la ladera oriental de una loma que, partiendo de Sierra-Nevada, corre hacia el Sur, entre los barrancos de Berchul y de Mecina, es la localidad originaria de estos notabilísimos riegos.

En los mismos ventisqueros de Sierra-Nevada toma su orígen una acequia que recibe el agua de los deshielos, y, siguiendo el filo de la loma, enlaza, en la longitud de una legua, once esplanadas ó mesetas, en muchas de las cuales se siembra centeno; la mayor, que es la segunda, coge tres fanegas y tres cuartillas de sembradura, y las menores tres cuartillas.

Los ventisqueros que vierten hacia Mecina no son perpetuos: acaban en Julio, precisamente en la época en que más necesarios son los riegos. Durante el período del deshielo, ó sea desde Marzo hasta fines de Junio, llevan los caces de la acequia dos dias por semana las aguas del Berchul; y no importa que por un deshielo rápido fluyan grandes masas de agua, puesto que, rebosando aquélla por uno de los costados de la acequia, se extiende dicha agua por las mesetas que encuentra en su trayecto, formadas de pizarra arcillosa que las absorben empapándose hasta la saturacion. La *cima* ó esplanada mayor traga cuatro caces sin rebosarse, y las pequeñas una cantidad proporcional á la superficie que comprenden.

A los veinte dias de haberse saturado las cimas, brota el agua á una distancia horizontal de 8 á 10.000 piés del punto en que fué absorbida, salvando en su trayecto subterráneo, al través de los estratos de pizarra, un desnivel proporcionado á la fuerte pendiente de las laderas de la loma. Con estas aguas se riegan las 180 fanegas de huerta que constituyen la notable vega de Mecina.

CAPÍTULO XVI.

POZOS ARTESIANOS.

En las nociones de hidrografía subterránea expuestas en el CAPÍTULO XIV como preliminar para el estudio de los alumbramientos, hemos agrupado en dos categorías distintas las aguas que corren por las capas interiores del terreno, llamando á las comprendidas en la primera categoría *corrientes subterráneas de superficie libre*, y á las otras *corrientes forzadas ó aguas artesianas*.

Examinadas las primeras en el capítulo anterior, vamos ahora á ocuparnos de las segundas.

Régimen de las corrientes forzadas. El caso de una corriente forzada se presenta cuando una masa permeable que recibe aguas de un punto elevado se halla comprendida entre dos capas impermeables. Las aguas pueden constituir

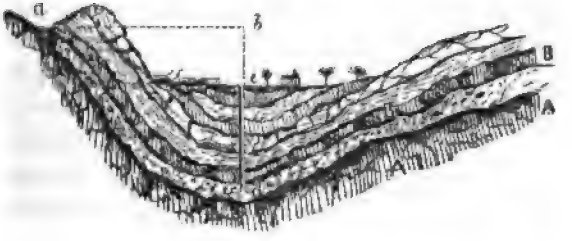


Fig. 70.

una corriente ó una masa continua acuífera capaz de trasmitir las presiones moleculares en todo el intervalo comprendido entre las dos capas impermeables, ya porque la capa

permeable termine en el fondo de un valle elevado por el que corra un rio ó un arroyo, ó ya porque se halle en comunicacion con una cuenca suficientemente extensa, formada de terrenos porosos, cuyas aguas subterráneas recoja en su totalidad ó sólo en parte. En el caso representado en la figura 70, siendo *a* el nivel superior de la masa de agua, y *ab* la línea de carga, se comprende fácilmente que si en el punto c del terreno se abre un pozo, ó se practica un sondeo hasta llegar á la capa permeable *D*, comprendida entre las dos impermeables *A* y *B*, las aguas ascenderán por el conducto *dc*, hasta llegar á una altura variable segun las resistencias, pero cuyo máximo sería *bd* si éstas pudieran anularse.

La iluminacion de las aguas de curso forzado por medio de taladros de sonda se ha practicado desde la antigüedad más remota en Egipto, Siria, Persia y China, y por primera vez en Europa á principios del siglo XII en la antigua cartuja de Lillers, en el *Artois*, de cuya comarca tomaron el nombre de *artesianos* los pozos, y de *artesianas* las aguas ascendentes.

De la simple inspeccion de la figura 70 se deduce que las aguas se elevan en los pozos artesianos en virtud de la tendencia que tienen los líquidos homogéneos á guardar el mismo nivel cuando se hallan contenidos en vasos comunicantes. Ahora bien, al ocuparnos en el CAPÍTULO V del movimiento de las aguas por cañerías, hemos visto que la longitud y forma del tubo, los recodos más ó ménos bruscos y repetidos, y otras causas, engendran resistencias que destruyen una parte de la velocidad de las aguas correspondiente á la carga, y que esta pérdida de velocidad determina una disminucion de altura en la columna líquida y una merma consiguiente en el gasto para una seccion y altura dadas del orificio de derrame.

Se concibe, por lo tanto, que si los rozamientos y cambios frecuentes de direccion oponen grandes resistencias al movimiento de las aguas, deben ser aquellas incomparablemente mayores tratándose de los conductos estrechos é irre-

gulares abiertos al través de la masa que constituye la capa permeable; de modo que podrá ocurrir que un taladro de sonda no dé acceso al agua á la superficie del terreno, áun cuando el orificio de salida quede á muchos metros por debajo del nivel del depósito con que comunique.

Otra causa importante se opone tambien á que las aguas alcancen el nivel de la línea de carga, y es debida á que la cuenca subterránea, en vez de presentar superficies unidas que mantengan el agua como aprisionada, ofrece con frecuencia roturas y los consiguientes escapes ya subterráneos, ó ya dando orígen á manantiales naturales ascendentes.

Además, la forma tipo, representada en la figura 70, de una cuenca artesiana cerrada por todos lados es rara en la naturaleza; y la depresion, cualquiera que sea su forma, se halla las más de las veces cortada é interrumpida por mil accidentes del terreno; de modo que las aguas, que segun el corte representado en la figura debian estar en reposo, suelen constituir una corriente, y experimentan pérdidas de nivel por fallas y escapes entre las roturas y dislocaciones de los estratos.

Se comprende, por lo tanto, la dificultad de determinar *a priori* si una comarca dada reune condiciones favorables para proporcionar por medio de la sonda aguas ascendentes; y el exámen de esta cuestion técnica, ajena al objeto de nuestro trabajo, exige reconocimientos minuciosos en una zona por lo general muy extensa y un profundo estudio del terreno, que las de las más veces sólo podrán facilitar los mismos ensayos de perforacion practicados.

Consignaremos únicamente en estos preliminares las consideraciones prácticas de mayor interés, y entre ellas las que se refieren á la influencia del diámetro de los pozos en el gasto ó volúmen de agua que suministran, y á la accion que recíprocamente ejercen unos en el gasto de otros que estén situados á corta distancia.

Si no temiéramos poner nuestra humilde y desautorizada

opinion enfrente de la autoridad respetable del Ingeniero francés M. Dupuit, diríamos que encontramos demasiado absolutas las conclusiones de este distinguido Ingeniero, tanto en lo que se refiere al régimen de los pozos artesianos en las diversas estaciones, como en la parte relativa á la influencia que ejerce el diámetro en el volúmen de agua que suministran en la unidad de tiempo, y á la accion mutua entre taladros de sonda poco distantes entre sí.

En primer lugar expondremos en términos generales, que un órden de fenómenos en cuya produccion intervienen tantas causas, muchas de ellas de imposible determinacion en la práctica, se presta poco á las aplicaciones del cálculo; y que la deduccion de leyes generales que no afecten á los fenómenos que se observen en un mismo taladro de sonda, en la mayoría de las aplicaciones exigirá el uso de coeficientes de correccion, áun tratándose de varios pozos abiertos en una misma cuenca artesiana.

Influencia de las estaciones en el régimen de los pozos artesianos. Afirma M. Dupui (1) que la alternativa de las estaciones ejerce una influencia insignificante en el gasto de los pozos artesianos. Esta proposicion, que en términos generales es admisible, no puede tener un carácter absoluto, ni áun relativo, entre los límites que dicho autor le asigna; porque dependerá aquella influencia de las circunstancias de la cuenca artesiana, del número y condiciones de los pozos, y de las variaciones que experimente el régimen de la corriente subterránea á consecuencia de las influencias meteorológicas en la zona más ó ménos extensa que la alimente. En apoyo de nuestra opinion podemos citar el fenómeno que se produce en el pozo artesiano perforado en los tejares de Málaga, cuyo régimen se halla tan influido por las estaciones, que en invierno el nivel piezométrico alcanza una altura de 2 metros sobre el suelo, y en los veranos secos no

(1) *Traité théorique et pratique de la conduite et de la distribution des eaux*, 2me. édition.—París: 1865, pág. 101.

llegan las aguas ascendentes á enrasar con la superficie del terreno.

Influencia del diámetro de los tubos en el gasto de los pozos. Divergiendo tambien de la opinion de M. Dupuit, tampoco concedemos tan escasa influencia al aumento del diámetro sobre los que se adoptan de ordinario para la entubacion de los pozos artesianos. Para que el uso de las fórmulas analíticas pudiera resolver la cuestion sería preciso conocer las leyes á que está sujeto el movimiento de las aguas al través de las capas artesianas, y por consiguiente poder determinar *a priori* la velocidad de que vienen animados los filetes líquidos al llegar á la seccion inferior de varios taladros de sonda. Si en ciertos casos el aumento de seccion del orificio viene compensado por una pérdida notable en la altura de derrame, cuando el caudal, que podemos llamar de alimentacion de la cuenca subterránea, sea muy grande comparativamente con el volúmen que suministra el pozo artesiano á una altura dada, y sean á la vez muy considerables la carga que determina el ascenso de las aguas y la porosidad de la capa permeable, el gasto aumentará notablemente con la seccion de salida correspondiente á la misma altura. Y comprueba nuestro aserto la diferencia de volúmenes que á un mismo nivel suministran los pozos de Grenelle y de Passy.

Comprendemos que la determinacion completa y directa de esas influencias, no ya para pozos artesianos distintos, sino hasta para un mismo taladro de sonda, es sumamente difícil y ocasionada á notables errores, en virtud de los escapes que las grandes cargas determinan en las juntas de union de la tubería, y de la capacidad de saturacion mayor ó menor de las diferentes capas del terreno que absorben ó filtran las aguas trasvasadas de los tubos.

Influencia recíproca de los pozos artesianos próximos. No estamos tampoco conformes con lo absoluto de las conclusiones de M. Dupuit acerca de la influencia recíproca de los pozos artesianos poco distantes entre sí. Es evidente que si varios pozos se surten de una misma capa arte-

siana, se influirán mutuamente de una manera más ó ménos sensible, muy notable en unos casos é inapreciable en otros; pero entre esto y la afirmacion de que estando varios pozos próximos y al mismo nivel, los que se encuentren en el perímetro no permitirán la alimentacion de los que se hallen en el centro, media una distancia inmensa. M. Dupuit pretende confirmar sus consideraciones teóricas por medio del fenómeno sencillo que se produce en las fuentecillas filtrantes que poseen casi todas las familias de París para purificar las aguas del Sena, y dice, que por mucho que se aumente el diámetro del grifo de salida del agua, y cualquiera que sea el número de orificios que se abran en el compartimiento del agua filtrada, la fuentecilla no ha de dar ni una gota más de agua. Claro es que aquel aparatito da una cantidad fija de agua filtrada por segundo de tiempo en relacion con la porosidad del filtro y con la carga, y que por muchos orificios que se abran no podrá salir por ellos más agua que la que se filtre. Pero podrá no suceder lo mismo en una cuenca artesiana; porque considerando en ella una seccion al nivel de varios orificios de sonda, la porosidad de la masa permeable y la carga serán susceptibles de dar en la unidad de tiempo mayor cantidad de agua filtrada en dicha seccion que la que puedan consumir uno, dos, tres ó más pozos situados á distancias próximas. Y los hechos confirman tambien en este caso nuestras apreciaciones.

Segun M. Dégousée (1) son tan fáciles y económicos los sondeos en el Artois, que en la llanura de Corvin se encuentran *uno ó varios* pozos delante de todas las casas de campo.

Sin necesidad de recurrir á testimonios extranjeros, podemos citar en nuestro país la huerta de Murcia, la cual, de doce años á esta parte, ha sido objeto de muy numerosos y felices trabajos de perforacion de pozos artesianos, de los que luégo nos ocuparemos con algun detalle.

Si bien es cierto que en dicha huerta no se han abierto,

(1) *Guide du sondeur.*—París: 1847, pág. 58.

por lo general, los taladros á menor distancia de 100 metros unos de otros, y que á esta distancia no se ha notado decrecimiento en el gasto de los pozos existentes porque se hayan abierto otros nuevos, todavía podemos afirmarnos más en nuestra opinion apoyándonos en un caso notable de recíproca indiferencia entre dos taladros mucho más próximos. En una propiedad del Sr. Meseguer se practicó un sondeo, y se dejó sin revestir el taladro más abajo de la capa de arcilla roja (1), con cuyo motivo se produjeron aterramientos, que dieron por resultado una disminucion del caudal suministrado por el pozo. Abrióse un nuevo taladro á *tres metros* de distancia, y no habiendo aumentado el caudal de éste porque se tapara el primero, volvióse á destapar, y hoy se hallan los dos en actividad sin que de una manera ostensible se causen mutuo perjuicio. Es de presumir, sin embargo, que estando estos dos pozos tan próximos, el gasto total no sea el doble del que hubiera dado uno solo á la misma altura; fenómeno que se ha reconocido ya en algunos pozos de Tours, citados por M. Viollet (2).

Los fenómenos observados en la perforacion de los pozos artesianos de Grenelle y de Passy dieron motivo á animados debates en la prensa, y á elevadas discusiones en la Academia de Ciencias de París. En España la perforacion de los pozos de Murcia ha pasado casi desapercibida áun para las personas que se dedican al cultivo de las ciencias, salvo cortísimas y muy honrosas excepciones. Y en verdad que esta clase de estudios merece llamar la atencion de las personas competentes, tanto por la importancia que puede adquirir en España el desarrollo de esta nueva industria, como por las disposiciones de carácter legislativo ó administrativo que pudiera hacer necesarias el disfrute regular y ordenado de las aguas artesianas.

---

(1) Véase al final de este capítulo el estado que se refiere á las capas atravesadas por la sonda en la huerta de Murcia.

(2) *Théorie des puits artésiens.*—París: 1840, pág. 64, nota.

Situacion conveniente del pozo. Reconocida la existencia de estas aguas en una comarca, siempre que no exista una causa especial que obligue á abrir el pozo en un punto fijo y determinado de antemano, será ventajoso, por lo general, situarlo en el punto más bajo del terreno.

Las ventajas de esta eleccion se fundan en los dos hechos siguientes:

1.° Cuanto más bajo se elija el punto para la apertura del pozo, será generalmente tanto menor el espesor de terrenos que haya que atravesar para llegar á la capa artesiana, y menores por consiguiente los sacrificios pecuniarios que la operacion exija.

2.° La eleccion de un punto bajo proporcionará un mayor volúmen de agua al nivel del suelo en la unidad de tiempo.

La pérdida de nivel para el orificio de salida del agua, cuando ésta tiene un gran valor, puede remediarse con el auxilio de las máquinas elevatorias; así es que la mejor eleccion de sitio para la apertura del pozo entre dos puntos situados á distintas alturas da lugar á la resolucion de un problema económico, que consiste en comparar el coste de adquisicion, conservacion y trabajo de las máquinas que puedan necesitarse para la elevacion del agua desde un punto bajo, con el mayor coste de la obra y el menor caudal de agua obtenido, abriendo el pozo en un punto más elevado.

Gasto por 1″ de un pozo artesiano.—Ley de Darcy. De los estudios practicados por el Ingeniero M. Darcy (1) sobre el movimiento ascensional del agua por los tubos de los pozos artesianos se deduce la siguiente ley.

»*La diferencia de las alturas á que por encima del nivel del suelo vierte el agua un pozo artesiano es sensiblemente proporcional á la diferencia de los volúmenes obtenidos á las mismas alturas.*»

De esta ley se infiere: que cuando se conocen dos obser-

(1) *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Accadémie des sciences de París:* An. 1868, pág. 180.

vaciones del gasto de un pozo artesiano, se puede formar una ecuacion de primer grado que dé próximamente el volúmen de agua que suministre el pozo á diferentes alturas.

Para facilitar la inteligencia y la aplicacion de esta ley, la traduciremos al lenguaje analítico. Supongamos que se hayan practicado dos operaciones de aforo directo de las aguas de un pozo artesiano á distintas alturas de derrame h_0 y h_1, y que se hayan encontrado para la unidad de tiempo los volúmenes respectivos v_0 y v_1. Con estos datos se desea conocer el gasto del mismo pozo á una altura cualquiera h.

Llamando x á este volúmen tendremos, segun dicha ley, la proporcion siguiente:

$$\frac{h-h_0}{h-h_1}=\frac{x-v_0}{x-v_1}$$

Despejando x resulta

$$x=\frac{v_0\,(h_1-h)+v_1\,(h-h_0)}{h_1-h_0}$$

en cuya fórmula no habrá ya más que sustituir los valores numéricos respectivos para deducir el volúmen ó gasto correspondiente á la altura de derrame conocida h.

La ley encontrada por M. Darcy ha sido confirmada por las observaciones hechas con el mayor esmero en el pozo de Grenelle por los Ingenieros MM. Mary y Lefort.

Fórmula de Michal. M. Michal, en una Memoria presentada á la Academia de Ciencias de París, da una nueva fórmula, cuya exactitud ha comprobado por medio de diferentes experimentos practicados en los pozos de Grenelle y de Passy á distintas alturas. Su fórmula es la siguiente:

$$q_u=\frac{2q_0H_0-gh_u\,v_0}{2\,(H_0+h_u)}$$

y para su deduccion ha despreciado el trabajo resistente debido al rozamiento del agua con las paredes del tubo de ascension, y á la pérdida de fuerza viva á la entrada y salida de dicho tubo.

En dicha fórmula q_o es el gasto observado á la altura H_o sobre el nivel de la capa artesiana; g la intensidad de la gravedad (9m,804 en Madrid); w la seccion de la parte inferior del tubo; y q_u el gasto calculado á una altura h_u sobre el nivel del punto en que se encontró el gasto q_o.

Si se supone la seccion del tubo uniforme en toda su longitud, de la fórmula anterior se deduce la siguiente:

$$q = \frac{2V_o OH_o - gh_u O}{2(H_o + h_u)}$$

en la que O representa la seccion constante del tubo, V_o la velocidad de salida por segundo del gasto observado.

Los volúmenes obtenidos directamente y á distintas alturas por MM. Mary y Lefort en los pozos de Grenelle y de Passy, y los calculados por la ley de Darcy que hemos expresado analíticamente, y por la primera fórmula de Michal, se resúmen en los siguientes cuadros:

Pozo de Grenelle.

ALTURA DEL DERRAME SOBRE EL NIVEL DEL		GASTO		
Mar	Suelo	Observado por MM. Mary y Lefort	Calculado por las fórmulas de	
			Michal	Darcy
Metros	Metros	Metr. cúb.	Metr. cúb.	Metr. cúb.
37,90	0,00	0,02000	0,02000	0,02000
40,95	3,05	0,01867	0,01925	0,01930
43,00	6,10	0,01822	0,01852	0,01861
50,00	12,10	0,01700	0,01711	0,01724
52,40	14,50	0,01638	0,01655	0,01669
53,55	15,65	0,01588	0,01628	0,01643
56,30	18,40	0,01524	0,01567	0,01580
62,85	22,05	0,01426	0,01415	0,01428
66,40	28,50	0,01342	0,01339	0,01439
71,00	33,10	0,01244	0,01236	0,01249

Pozo de Passy.

$w = 0{,}5114$ metros cuadrados.

ALTURA DEL DERRAME SOBRE EL NIVEL DEL		GASTO		
Mar	Suelo	Observado por MM. Mary y Lefort	Calculado por las fórmulas de Michal	Calculado por las fórmulas de Darcy
Metros	Metros	Metr. cúb.	Metr. cúb.	Metr. cúb.
53,30	0,00	0,1779	0,1779	0,1779
59,32	6,02	0,1441	0,1504	0,1512
65,25	11,95	0,1197	0,1239	0,1248
73,15	19,85	0,0846	0,0889	0,0892
77,15	23,85	0,0718	0,0728	0,0718

MÉTODOS DE SONDEO.

Los procedimientos empleados para la perforacion de los pozos artesianos ofrecen caracteres sumamente variados en virtud de las numerosas é importantes modificaciones de que han sido objeto en la práctica moderna; intentaremos, no obstante, un ligero bosquejo de los mismos, y para ello los reduciremos á los tres tipos principales siguientes:

1.° *Método ordinario* ó de varilla rígida.

2.° *Método chino* ó de varilla y cuerda.

3.° *Método de sonda hueca* de M. Fauvelle.

Método ordinario. En la sonda ordinaria propiamente dicha hay que distinguir tres partes: la *cabeza* ó *mango*, el *vástago* ó *varilla* y el *operador* ó *útil*.

La cabeza ó mango sirve para sostener todo el cuerpo de la sonda, y á su vez está suspendida por medio de una cuerda, cable ó cadena que pasa por la polea de una cábria, ó se sujeta al extremo de un balancin ó de una palanca á propósito para que pueda comunicarse al aparato un movimiento rectilíneo alternativo. Está constituido el mango por una barra de hierro que termina por su parte superior en un

anillo giratorio, debajo del cual hay practicados dos agujeros formando un ángulo recto, para que en ellos puedan introducirse dos palancas cuando haya que comunicar á la sonda un movimiento de rotacion; por la parte inferior se empalma el mango directamente con el vástago.

El *vástago* está formado por una serie de varillas de hierro empalmadas por sus extremos, generalmente á rosca, y cuyo diámetro varía con las dimensiones del pozo. Para sondeos de 6 á 7 centímetros de diámetro y 20 metros de profundidad suelen emplearse varillas de $0^m,025$ de grueso; para un diámetro de un decímetro y una profundidad de 150 metros se usan varillas de $0^m,035$, y hasta de $0^m,045$ para diámetros y profundidades mayores. La longitud de cada trozo de varilla varía de 3 á 6 y 8 metros.

El *útil* de la sonda afecta formas diferentes segun la clase de trabajo á que se destina. Cuando se aplica á la perforacion de la roca dura, está constituido por un *trépano* ó *cincel;* afecta la forma de *barrena* cuando el aparato actúa con movimiento giratorio; para las operaciones de limpia y extraccion de los detritus del sondeo se usa un cilindro hueco provisto en su parte inferior de una válvula plana ó esférica, segun la plasticidad de los terrenos que se atraviesan; para calibrar el taladro se emplean útiles apropiados, á los que se imprime un movimiento de rotacion; y para la reparacion de las averías por rotura de la varilla se usan los útiles de extraccion ó *arrancadores*, que afectan la forma de unas fuertes pinzas de resorte, ó bien una forma acampanada, en cuyo interior hay una rosca con filetes de acero que sujeta la extremidad rota de la varilla, dándose un movimiento de rotacion al aparato. En resúmen, la forma del útil varía segun los usos, la naturaleza del terreno, y hasta segun el ingenio del director del sondeo, el cual, puesto en lucha con la infinita variedad de accidentes imprevistos que ocurren en la práctica, se ve precisado á crear muchas veces nuevos recursos con que hacer frente á las contrariedades del momento.

El estudio minucioso y detallado, tanto de los métodos de sondeo de uso más frecuente como de los útiles y operaciones, puede hacerse en la obra que hemos citado *Guide du sondeur* de M. Dégousée

Maniobra de la sonda. En el sitio señalado para el sondeo suele abrirse previamente un pozo circular de un radio suficiente para permitir la maniobra de la sonda, y de una profundidad variable segun el espesor de la capa vegetal y segun la compacidad del subsuelo. Algunas veces se llega á dar á este primer pozo una profundidad de 8 y hasta de 10 metros. Sus paredes laterales se revisten de ladrillo ó de otro material adecuado con objeto de evitar los aterramientos, y en su fondo se dispone un suelo de tabla con un orificio en el centro de un diámetro algo mayor que el correspondiente al calibre que ha de tener el taladro.

La maniobra de la sonda varía con la clase de trabajo que se quiere ejecutar y con la importancia del sondeo; así, por ejemplo, cuando el trépano actúa á profundidades menores de 10 metros, podrá levantarse la sonda á mano por medio de un balancin de tirantes, y para profundidades mayores será ya necesario recurrir á cábrias, tornos de escape, ruedas de levas, etc., movidas á mano ó por medio de una máquina de vapor.

El empalme y desarme de la varilla rígida para las diferentes operaciones del sondeo y los accidentes normales en esta clase de obras, dan lugar á una pérdida de trabajo considerable, que aumenta con la profundidad; así es que el precio del metro lineal aumenta en la misma relacion.

Entubacion. Las capas de arena, y en general de los terrenos poco compactos que se atraviesan con la sonda al perforar los pozos artesianos, dan orígen á desmoronamientos que, obstruyendo el pozo, dificultan la continuacion del sondeo. Tanto por estas causas, como por la necesidad de facilitar al ascenso de las aguas un conducto impermeable que impida la dispersion de éstas al través de las capas permeables que suelen encontrarse á diferentes profundidades, se

hace indispensable revestir el pozo por medio de una tubería. La entubacion puede, por lo tanto, ser provisional ó definitiva. La primera, de simple contencion, tiene por objeto impedir los desmoronamientos durante la operacion del sondeo, y la segunda aislar la columna de agua ascendente una vez terminado el pozo.

El material generalmente empleado para la construccion de los tubos es el palastro y la plancha de cobre. Se da comunmente á los tubos un diámetro exterior algo menor que el del pozo, y aunque suelen introducirse comunicándoles un movimiento de rotacion, se procura que el espesor del material sea suficiente para poder resistir en caso necesario la introduccion á golpe. Dégousée da á las planchas de la tubería un grueso de $0^m,005$ para un diámetro de $0^m,33$; de $0^m,003$ para $0^m,25$ y de $0^m,002$ para un diámetro de $0^m,15$. La longitud de los tubos parciales suele ser de 2 metros. La union longitudinal de las planchas se obtiene empleando redoblones de hierro dulce á intervalos de $0^m,04$ á $0^m,05$, y la de los tubos entre sí por medio de collares ó virolas de palastro sujetas por pequeños redoblones de cabeza plana.

Cuando se encuentra una capa desmoronable, se introduce la tubería hasta el fondo del pozo y se continúa la perforacion con un diámetro inferior en $0^m,02$ al de los tubos anteriores. Si á mayor profundidad se reproduce el mismo fenómeno, se puede proceder á una segunda entubacion de diámetro menor que la anterior, ó bien, conservando las dimensiones de la última parte del pozo, se puede ir bajando la misma tubería.

En general, cuando se establece una segunda tubería de menor diámetro, su longitud suele ser la total del taladro, de modo que recubra por completo la primera.

La entubacion definitiva para la conduccion de las aguas ascendentes debe hacerse con mucho esmero, procurando una impermeabilidad completa; puesto que los defectos de entubacion, además de facilitar en ciertos casos la incorporacion á la columna ascensional de aguas de mala calidad, proce-

dentes de los terrenos superiores, pueden disminuir el nivel piezométrico de las aguas surtidoras, y hasta motivar la extincion completa del pozo artesiano á la superficie del suelo.

Método chino ó de varilla y cuerda. Este procedimiento, fundado en el uso de una masa cilíndrica constituida por un sólo trépano, ó por varios formando un haz dentado, y obrando por percusion presenta el inconveniente de no dar con facilidad un taladro recto y sin desigualdades. Cuando el útil encuentra resistencias desiguales en las sucesivas percusiones, se produce fácilmente una desviacion en la direccion del eje, que puede imposibilitar la colocacion ulterior de la tubería. Además, los fragmentos de roca desprendidos de las capas superiores y la adherencia misma de la tierra al útil exigen esfuerzos de traccion que con frecuencia producen la ruptura de la cuerda, y hacen indispensable recurrir al empleo de la sonda rígida para la reparacion de la avería. Estos inconvenientes han limitado extraordinariamente el uso del método de varilla y cuerda.

Método de sonda hueca. Este procedimiento, ideado por M. Fauvelle, fué aplicado por primera vez á la perforacion del pozo artesiano de la plaza de Santo Domingo de Perpiñan, en el cual se encontró el agua surtidora á una profundidad de 170 metros.

El aparato consiste en una sonda hueca formada por una serie de tubos unidos á rosca, y cuya extremidad inferior sustenta el útil. Este tiene un diámetro mayor que el tubo general de sonda, con objeto de dejar un espacio anular entre el mismo y las paredes del pozo, por el que puedan encontrar salida los detritus de la operacion, mediante una corriente de agua que se inyecta en el interior de dicha tubería. La extremidad superior de la sonda comunica con una bomba de inyeccion por medio de un tubo flexible de longitud suficiente para que pueda acompañar á la sonda en su movimiento alternativo de ascenso y descenso. El útil actúa por percusion y por rotacion, lo mismo que en el método de varilla rígida, y la maniobra para ambos procedimientos sólo

difiere en las modificaciones introducidas por el uso de la bomba impelente.

Por medio de dicha bomba se produce una corriente continua de agua de arriba abajo por el interior de la sonda, y otra inversa por el espacio anular exterior destinada á extraer los detritus resultantes del sondeo. Segun M. Fauvelle, cuando se encuentran gravas ó guijo, es preferible inyectar el agua por el espacio anular y hacerla ascender por el interior de la sonda. Por este medio inverso de inyeccion ha podido determinar el ascenso de fragmentos de $0^m,06$ de longitud por $0^m,03$ de diámetro.

Desde luégo se echa de ver que la principal ventaja del procedimiento ideado por M. Fauvelle consiste en la facilidad de limpiar el pozo sin tener que sacar la sonda. Posee además la ventaja de que el útil perforador no se embota con los detritus, y de dar lugar á menores derrumbamientos.

Para terminar las nociones relativas á los procedimientos empleados en la perforacion de los pozos artesianos, expondremos algunos detalles sobre el conjunto de los trabajos ejecutados en el pozo de Passy por el procedimiento especial del Ingeniero sajon Herr Kind, detalles interesantes por más de un concepto.

PERFORACION DEL POZO DE PASSY.

El éxito obtenido en la perforacion del pozo de Grenelle, veinte años ántes que el de Passy dotara al *Bois de Boulogne* de una abundante fuente artesiana, puso de manifiesto que debajo de las areniscas verdes, á 580 metros de profundidad, existia una capa acuífera sometida á una carga capaz de comunicar al agua un movimiento ascensional hasta la superficie del suelo, por un taladro de sonda de 30 centímetros de diámetro. Era, por lo tanto, racional intentar en otro punto la perforacion de un pozo de mayores dimensiones, por cuyo motivo el municipio de París aceptó el proyecto que

en 1854 le presentó el Ingeniero sajon Herr Kind, ofreciéndose á abrir un pozo de 60 centímetros de diámetro, que diese en veinticuatro horas un gasto de 13.300 metros cúbicos de agua, con un presupuesto de 350.000 francos y en un plazo de uno á dos años. La ciudad de París se reservó por su parte el derecho de continuar los trabajos como tuviera por conveniente si no quedaba terminada la obra despues de gastada la cantidad consignada en el presupuesto. La perforacion debia practicarse con la sonda del sistema Kind, que diferia de la empleada en el pozo de Grenelle por M. Mulot, en que aquella actuaba sólo por percusion, y estaba constituida por un trépano de caida libre sostenido por un vástago de densidad igual á la del agua.

El instrumento de perforacion de Kind es un trépano de hierro forjado, de 1.800 kilógramos de peso, provisto de siete dientes de acero fundido de $0^m,25$ de longitud cada uno, y sujeto á un escape de tenaza que le permite desprenderse de la varilla de suspension. El escape ó aparato de caida libre, está formado por un cilindro hueco de gutapercha de $0^m,60$ de diámetro, en el cual se introducen los brazos de la pinza ó tenaza que sostiene el vástago del trépano. Este vástago se halla constituido por una serie de barras de madera de pinabete de $0^m,09$ de escuadría, enlazadas entre sí por medio de abrazaderas y tornillos de hierro en una longitud de unos 20 metros, y cuyo conjunto ofrece un peso próximamente igual al del volúmen de agua que desaloja cuando se mueve en el agua, en cuyo caso basta un pequeño esfuerzo de traccion para levantar la sonda.

La perforacion se practica de una manera muy sencilla: miéntras que el conjunto del aparato desciende rápidamente por su propio peso, el cilindro de gutapercha, que puede moverse alrededor del eje del escape, queda detenido por la presion del agua que siempre se encuentra en la parte inferior del pozo, y abre la tenaza que sostiene el trépano, desprendiéndose éste del vástago. Por el contrario, la tenaza vuelve á cerrarse y levanta el cincel, cuando aquélla vuelve á subir

difiere en las modifi[illegible] de la accion opuesta que éste bomba impelen[illegible]

Por medio [illegible] oscilatorio al aparato por uno tinua de agu[illegible] balancin que tiene en el otro ex- otra inver[illegible] adaptado al piston de una má- traer los [illegible] caballos de fuerza. Segun la natura- cuando [illegible] terreno sobre que se opera, así se ace- el agu[illegible] movimiento del piston, y por lo tanto el del rior [illegible] por [illegible] La altura á que se hace ascender el tré- lo [illegible] pasa por término medio de 60 cen- tímetros.

Para limpiar el fondo del pozo, despues de haber perforado una longitud de 1 metro á 1^{m},50, se sube el trépano por medio de un cable plano que se arrolla á un torno movido por el segundo cilindro de la máquina de vapor. Este cable pasa por la garganta de una polea fija en la techumbre de la torre que cubre la boca del pozo, á una altura suficiente para facilitar la desarticulacion del vástago de suspension. Extraido el trépano, se le suspende de una plataforma móvil sobre un rail, y se le separa con el fin de poder dar paso al instrumento destinado á la limpia del fondo del taladro. Consiste éste en un cilindro de palastro de fondo móvil de 1 metro próximamente de altura por 0^{m},80 de diámetro.

La naturaleza y espesor de las capas atravesadas en la perforacion del pozo de Passy, no difirieron en nada de las encontradas en el sondeo de Grenelle. En los estratos de la creta pura se ahondó el pozo de 5 metros cada veinticuatro horas, miéntras que en otros apenas se llegaba á un metro en el mismo tiempo. En el pedernal se gastaba el cincel rápidamente, llegando á perder cerca de 2 centímetros por cada dos horas de trabajo.

La perforacion empezó en 15 de Setiembre de 1855 con un diámetro de 1^{m},10 en las arcillas y de 1 metro en la creta, verificándose la operacion con una facilidad asombrosa, aunque no con la rapidez que H. Kind habia anunciado. En los últimos dias del mes de Marzo de 1857, despues de

berse atravesado una profundidad de 528 metros, habiendo ado ya la sonda hasta la proximidad de las areniscas ver-es, donde se encuentran las aguas ascendentes, sobrevino un accidente deplorable que estuvo á punto de malograr tantos esfuerzos.

A medida que bajaba la sonda se iba revistiendo el pozo con un tubo de palastro de 2 milímetros de grueso, destinado á contener las tierras; en 31 de Marzo fué aplastada la tubería por el empuje de las arcillas á una profundidad de 30 metros bajo el nivel del suelo. Este accidente, que hubiera podido evitarse dando mayor resistencia á los tubos, produjo un retraso de tres años en el éxito de la empresa, é hizo elevar á un millon de francos el presupuesto que se habia fijado en 350.000.

Despues del accidente, el municipio de París encomendó la direccion de los trabajos á la Administracion de puentes y calzadas, quedando H. Kind encargado del sondeo propiamente dicho.

Para descombrar la porcion de pozo obstruida por los derrumbamientos, se procedió por los Ingenieros franceses de la manera siguiente: se abrió un pozo alrededor del antiguo, hasta una profundidad de 53 metros; este pozo tenía tres metros de diámetro en los dos tercios superiores de su altura y $1^{m},70$ en el resto, apoyando su base sobre la creta, y lo constituian una tubería de palastro ó de fundicion con revestimiento interior de mampostería. Se comprende cuántas dificultades debieron vencerse para el revestimiento; los tubos de fundicion de 35 milímetros de grueso se rajaban bajo la presion de las arcillas. A fuerza de gastos y perseverancia pudo al fin verse libre el pozo primitivo de 528 metros; pero al continuar la perforacion sobrevinieron nuevos accidentes en la colocacion de la tubería.

El tubo, preparado de antemano, estaba formado por un cilindro de madera de $0^{m},78$ de diámetro, compuesto de piezas fuertemente unidas por armaduras de hierro. Terminaba en su parte inferior por un tubo de bronce enchufado en una

longitud de 2 metros en el de madera, quedando 12 metros libres, y agujereado en toda su superficie para facilitar el paso del agua al llegar á la capa acuífera. El sistema así constituido descendió sin obstáculo hasta una profundidad de 550 metros, en cuyo punto se atascó, ofreciendo el fenómeno todos los visos de un accidente irremediable. Despues de varias tentativas infructuosas, se encontraron los Ingenieros franceses en presencia de dificultades análogas, aunque de solucion más difícil que las que les detuvieron á la entrada del pozo. Sin embargo, despues de haberse asegurado por un estudio geológico en vista de los fragmentos sacados por la sonda, de que la capa acuífera debia hallarse próxima, se decidió practicar en el fondo del pozo un sondeo de ensayo, de pequeño diámetro, para seguirlo en caso necesario de otro que ensanchase el pozo hasta su diámetro normal.

El 25 de Mayo de 1861 se encontró por primera vez el agua, la cual ascendió por la tubería sin llegar al orificio de salida situado al nivel del suelo. La profundidad del taladro era de 570 metros.

Se enchufó un segundo tubo de palastro de $0^{m},70$ de diámetro, de $0^{m},020$ de espesor y de 52 metros de longitud. Aumentado así el diámetro del pozo se prosiguió el sondeo con nuevo vigor, y en 24 de Setiembre se llegó á la capa artesiana, saliendo el agua al exterior en masa considerable.

El volúmen de agua fué al principio de 15.000 metros cúbicos en veinticuatro horas, y pronto ascendió á 20.000 (231 litros por 1″). Su temperatura es de 28° centígrados y lleva el agua en suspension una pequeña cantidad de arcilla.

La apertura del pozo de Passy ejerció una influencia notable en el gasto del de Grenelle situado á 3.500 metros del primero. Antes de la nueva perforacion daba éste 900 metros cúbicos en veinticuatro horas (cerca de 10 litros y medio por 1″); hasta el medio dia del 25 de Setiembre, á cuya hora brotaron las aguas en el de Passy, siguió dando el mismo volúmen; pero en el mismo dia bajó á 806 metros cúbi-

cos, y al dia siguiente á 777 m^3 (cerca de 9 litros por 1″), conservándose constante este caudal en lo sucesivo.

Los gastos de instalacion ó de compra de instrumentos, máquinas y tubos de contencion ascendieron á la suma de 93.865 francos. La conservacion del material y sus reparaciones desde el 1.° de Setiembre de 1854 al 1.° de Febrero de 1856 costaron 8.862 francos. El gasto medio de combustible en veinticuatro horas de trabajo fué de 500 kilógramos, que al precio de 4,25 francos los 100 kilógramos suman 21,25 francos.

El tiempo empleado y el coste necesario para atravesar cada una de las capas, haciendo caso omiso de los gastos generales de instalacion y conservacion, vienen indicados en el siguiente cuadro:

Naturaleza de las capas atravesadas por la sonda	Número de dias de doce horas de trabajo empleados en cada capa	Espesor de las capas	Profundidad media obtenida por doce horas de trabajo en cada capa	Coste total por capas	Coste medio por metro en cada capa
		Metros	Metros	Francos	Francos
Caliza.....	4,00	7,80	1,82	280	88,88
Arenas.....	17,00	7,84	0,43	1.190	162,11
Arcilla.....	22,25	26,77	1,20	1.557	58,16
Conglomerados calizos	22,00	5,94	0,27	1.540	259,25
Creta con núcleos silíceos interpuestos.....	142,00	219,83	1,53	9.940	45,31
	207,25	266,68		14.057	
Profundidad media obtenida por cada 24 horas.....			1,28	»	»
Coste medio por metro lineal.....			»	»	54,39

POZOS ARTESIANOS DE ESPAÑA.

Pozos de Madrid. Los primeros ensayos de perforacion de pozos artesianos datan en España de 1834, en cuyo

año se hizo en Barcelona una tentativa infructuosa. En 1837 se hizo otra en Madrid, en la que se atravesaron tan sólo los sedimentos modernos. No alcanzaron mejor éxito los ensayos posteriores hechos por el Ayuntamiento y el Real Patrimonio, é igual suerte tuvo el que en 1850 hizo el Sr. Matheu en su casa de la calle de Espoz y Mina, en el cual bajó la sonda á mayor profundidad que en las anteriores tentativas. En este último sondeo se atravesaron las arenas del terreno cuaternario y parte de las arcillas terciarias, suspendiéndose la operacion á una profundidad de 195 metros, sin haber penetrado todo el espesor de estas últimas, cuya base, segun el sabio geólogo D. Casiano de Prado, no podia estar distante.

Pozos de Albacete. En la provincia de Albacete se han perforado dos pozos en busca de aguas artesianas: uno en la estacion que el ferro-carril tiene en la capital, y otro en la posesion del Marqués de Salamanca, titulada Los Llanos, situada á 8 kilómetros de la misma.

En el sondeo practicado en la estacion del ferro-carril se encontró la primera capa de aguas ascendentes á una profundidad de 53 metros; pero áun cuando dichas aguas elevaron el nivel de las que llenaban el taladro, ni eran de buena calidad, ni llegaron á la superficie del suelo. Se continuaron los trabajos hasta una profundidad de 86 metros, en la que se encontraron aguas surtidoras, las cuales, sin ser muy abundantes, cumplian con la condicion esencial de ser de muy buena calidad para el abastecimiento de las locomotoras y para las demás necesidades del servicio del ferro-carril, objeto preferente de la perforacion del taladro. Por temor de perder dicha ventaja se suspendieron los trabajos á la cota citada. El pozo suministra 18,58 litros por minuto á $0^{m},50$ sobre el nivel del suelo, pudiendo fijarse el nivel piezométrico á la altura de 2 metros sobre la cota anterior.

En el pozo de los Llanos se bajó la sonda hasta una profundidad de 187 metros sin encontrar aguas surtidoras, renunciándose á continuar la operacion despues de haberse in-

vertido, sólo en mano de obra de los barrenadores, un capital de 126.000 rs.

Pozos de Cartagena. El Ingeniero Sr. Baldasano tuvo á su cargo la direccion de los trabajos de perforacion de un pozo artesiano en Cartagena, y encontró á una profundidad de 30m,25 la capa surtidora, cuya carga efectiva es sólo de un metro sobre el nivel del suelo. Las aguas de este pozo salen fuertemente cargadas de principios salinos, cuya circunstancia es debida, á juicio del Ingeniero Sr. Inchaurrandieta, á que por defectos de entubacion se mezcla el agua de la columna ascendente con la de las capas superiores que se hallan en comunicacion directa con el mar, en virtud de la permeabilidad de las masas que la contienen.

Las aguas del pozo artesiano abierto en la plaza del Rey marcan 160° en el hidrotímetro, y en al análisis especial que de las mismas hizo nuestro amigo y compañero Sr. Codorniu, reduciendo todos los cloruros al de sodio, que es el dominante, encontró 2,97 gramos de dicha sal por cada litro de agua.

En el pozo de Cartagena abierto por D. Bartolomé Cárceles en una propiedad del Sr. Spottorno, se bajó la sonda hasta una profundidad de 142m,50, habiéndose invertido en los trabajos un plazo de poco más de cuatro meses. Empezó la perforacion en tierra colorada; siguió una capa de caliza arenisca con algo de arcilla hasta la profundidad de 32 metros; á ésta seguia una capa arenosa acuífera, aunque no de aguas ascendentes, de 75 centímetros de espesor; continuó luégo el mismo terreno anterior hasta la profundidad citada de 142m,50, en la cual, no habiéndose encontrado todavía aguas artesianas, se abandonó el sondeo. Se entubó el pozo hasta llegar á la capa arenosa acuífera.

La cantidad de trabajo diario ejecutado en la perforacion de este pozo fué la que se indica en el siguiente cuadro:

PROFUNDIDADES	DIAS EMPLEADOS	TRABAJO DIARIO
		m
De 0 á 40 metros.....	20	2,00
» 40 á 60 »	11	1,75
» 60 á 70 »	7	1,50
» 70 á 80 »	8	1,25
» 80 á 90 »	10	1,00
» 90 á 100 »	11	0,90
» 100 á 110 »	12	0,80
» 110 á 120 »	14	0,70
» 120 á 130 »	17	0,60
» 130 á 140 »	22	0,45
» 140 á 142,50 »	8	0,30

Empezó la operacion ocupándose en el trabajo cuatro peones y un capataz, y terminó empleándose en el mismo ocho peones. El coste total de la obra fué de 10.000 rs.

Pozos de Murcia. La necesidad de suplir la insuficiencia de las aguas del rio Segura para sostener el progreso del cultivo en la célebre vega murciana, ha hecho que los agricultores hayan tenido que recurrir al aprovechamiento de las aguas subterráneas y que utilizar para su elevacion la fuerza animal, la expansion del vapor y la fuerza impulsiva del viento. No bastando estos medios, y tal vez á consecuencia de haberse observado en los puntos bajos de la huerta la existencia de pequeñas fuentes surtidoras, que llaman en el país *fontanillas,* se fijó la atencion en la mayor ó menor posibilidad de encontrar aguas artesianas, indicadas ya por el Ingeniero de minas Sr. Botella en su *Descripcion geológico-minera de las provincias de Murcia y Albacete,* publicada en 1868.

En 21 de Abril de 1870 se empezó el primer pozo de ensayo en una propiedad de D. Gabriel Roca, y se hizo con tal suerte, que á los nueve dias brotó el agua sobre la superficie del suelo. La brevedad de la operacion y el feliz éxito alcanzado impresionaron vivamente á los agricultores murcianos, quienes se dieron desde luégo á abrir pozos por todo

el ámbito de la huerta, hasta tal punto, que hoy se encuentran más de 80 pozos en actividad, además del que en Orihuela ha abierto el Sr. Revagliato.

El primer pozo de ensayo se inutilizó en breve tiempo, por no haberse tomado la precaucion de ponerle una tubería de revestimiento; pero inmediatamente despues se abrió otro á muy corta distancia, coronando la obra el éxito más lisonjero.

Han suministrado aguas ascendentes los pozos abiertos desde la distancia de 2 kilómetros al Levante de Murcia hasta los confines de la huerta de Orihuela; y se ha observado que no aparecen aquellas aguas en sitios muy próximos al quijero del rio, ni en la zona situada aguas arriba de la ciudad, ni en la ciudad misma. Parece ser, sin embargo, que el constructor Sr. Cárceles ha practicado varios sondeos con éxito satisfactorio á ménos de 100 metros de la márgen del Segura.

La profundidad media de los pozos perforados es de unos 35 metros, y su coste aproximado, incluyendo el de la tubería de revestimiento, asciende por término medio de 7 á 8.000 rs., ó sea á razon de 214 rs. por metro lineal de taladro revestido.

Al frente de la construccion de los pozos artesianos de Murcia y Cartagena han figurado D. Víctor Martinez, Don Nicolás Arévalo y D. Teodoro Cárceles, y los contratos más frecuentes han sido por un tanto alzado dejando el pozo en actividad.

Segun el constructor Sr. Cárceles, los terrenos encontrados y su potencia respectiva son los que se indican en el siguiente estado:

CAPAS	POTENCIA — *Metros*
1.ª Suelo y subsuelo.....	De 1 á 3
2.ª Arcilla negruzca con ramas descompuestas, pequeñas conchas y otros restos orgánicos.....	De 20 á 30
3.ª Arcilla roja compacta.....	De 1 á 5
4.ª Arenisca amarillenta con arcilla que pasa á chinarro menudo y á grava gruesa (capa artesiana).....	De 1 á 4
5.ª Arcilla roja igual á la de la tercera capa.	

Ya hemos indicado ántes que por lo general no se han abierto pozos á distancias recíprocas menores de 100 metros, y que no se ha observado disminucion sensible en el gasto ó volúmen de agua por segundo por la apertura de nuevos taladros, y que tampoco se han advertido diferencias en el caudal por la alternativa de las estaciones.

El método empleado en la perforacion de los pozos de Murcia es el que en otro lugar hemos reseñado con el nombre de método ordinario ó de sonda rígida.

Para el revestimiento de los taladros se han empleado tubos de palastro de tres milímetros de grueso, de 10 á 12 centímetros de diámetro y de 1 á 4 metros de longitud, con juntas y enchufes unidos por medio de redoblones de hierro. El coste de la tubería es de 50 á 60 rs. por metro lineal.

El máximo nivel de derrame asciende en algunos puntos á la altura de 6 metros sobre la superficie del suelo.

Medida el agua que han proporcionado varios pozos al nivel del suelo, se ha encontrado un volúmen máximo de 20 litros por 1″ (1.800 metros cúbicos en veinticuatro horas), y un mínimo de 300 metros cúbicos al dia. El gasto medio es de 8 á 9 litros por segundo, con el cual pueden regarse 8 ó 9 hectáreas al turno de siete dias, con una capa de agua de $0^{m},06$ de altura.

El agua de los pozos es algo *blanda* y contiene mucha

magnesia; pero es excelente para el riego y se bebe sin serios inconvenientes.

En algunos puntos de la huerta se vende el agua que los pozos artesianos suministran. En uno de ellos, que da 1.300 metros cúbicos al dia y permite regar 5 tahullas de tierra en tres horas, se vende la *hora de agua* á 2 rs. ó sea á 48 reales el dia, siendo por lo tanto de 0,037 rs. el precio del metro cúbico de agua. En otro pozo artesiano próximo al anterior se pagan 4 rs. por la hora de agua, á pesar de ser el caudal ménos abundante, fenómeno que atribuimos á que, teniendo el segundo pozo el orificio de salida á mayor altura, permitirá regar de pié las tierras más elevadas.

La fuerza ascensional de las aguas es tan considerable en algunos pozos, que segun nos manifestó el Sr. Roca, en una conferencia que con él tuvimos, habia dicho señor recogido un fragmento de un peso de 41 onzas castellanas (1,179 kilógramos) que, procedente del conglomerado existente en la capa artesiana, habia sido arrastrado por las aguas en su movimiento de ascenso.

Los pozos que no han suministrado aguas surtidoras, y las han dado simplemente ascendentes hasta cierta altura, se han explotado por medio de bombas movidas por molinos de viento, llamados en el país *molinetas*, análogos á los que con el mismo objeto están en uso en el campo de Cartagena.

Pozo de Alcalá de Chisvert. Empezó en Setiembre de 1877, próximamente en la misma época en que se iniciaron tambien los trabajos de perforacion del de Vitoria. Se hizo á expensas del distinguido geólogo Sr. Vilanova y mediante el empleo de un aparato de caida libre de la casa Lippmann de París, habiéndose suspendido el sondeo á una profundidad de 132 metros. En este pozo, abierto á corta distancia del pueblo indicado, en la provincia de Castellon, se atravesaron cerca de 92 metros de la formacion diluvial y hasta los 132 metros caliza dura y arcillas verde-azuladas, conteniendo *Planorbis rotundus*, *Lymneas* y algunos pequeños hélices, que claramente indican, segun el Sr. Vilanova,

que aquéllas pertenecen al terreno terciario medio. De los 132 metros hay 92 entubados y más de 100 de agua. El diámetro del pozo es de $0^{m},30$. El Sr. Vilanova, al reanudar los trabajos de perforación interrumpidos, espera encontrar las aguas artesianas al contacto con el terreno terciario inferior, ó al atravesar algunas capas del cretáceo.

Pozo de Valencia. El conocido industrial catalan señor Nolla, dueño de la notabilísima fábrica de mosáicos de Alboraya, en las cercanías de Valencia, abrió en su propiedad el primer taladro de sonda intentado en la provincia. En la operacion se invirtieron treinta dias, y brotaron las aguas á la superficie del suelo el 1.º de Octubre de 1876, suministrando un caudal de 193 litros por minuto.

El terreno pertenece á la misma formacion geológica que la cuenca artesiana de Murcia, y las capas atravesadas por la sonda son por su órden de sucesion las siguientes:

	Metros.
Arcilla amarillenta	6,00
Arena amarillenta	3,40
Arcilla oscura	7,60
Guijarros	1,10
Arena con mezcla de arcilla	4,80
Toba caliza (tosca)	0,70
Arena amarillenta	1,80
Arena con guijarros	0,70
Arcilla oscura	7,46
Arena con arcilla	1,00
Guijarros	0,95
Arcilla con arena blanca	8,40
Arena gruesa	3,20
Guijarros	2,60
TOTAL	49,71

Pozo del Realengo. El pozo de que vamos á ocuparnos se ha abierto en la finca que nuestro buen amigo el excelentísimo Sr. D. Isidoro Gomez de Aróstegui posee en el

término de Játiva, provincia de Valencia. Se halla dicha finca constituida por un pequeño valle de unas 2.000 hectáreas, situado en el terreno terciario, en la parte occidental del grupo de montañas de Valldigna, no léjos de Rafelguaraf y Barcheta. Se esperaba encontrar las aguas surtidoras en el terreno cretáceo, que domina ya en el valle de Barcheta y en la parte inferior de la misma finca, á una profundidad próximamente de 250 metros. La diferencia de nivel que existe entre el límite superior del valle y su fondo es de 80 á 90 metros, y su altura media sobre el nivel del mar de unos 64 metros.

Instalacion.—En el sitio elegido para el sondeo existia un pozo ordinario de 47,50 metros de profundidad, y sobre paredes de 5 metros de altura y espesores correspondientes para sostener las tierras hasta llegar al terreno firme, se levantó una cábria de 14 metros de altura, formada por cuatro piés derechos entrelazados por traveseros y cruces de San Andrés, y en cuya parte superior se halla colocada una polea para la maniobra de meter y sacar la sonda. Con el mismo objeto hay tres balconcillos y una escalera que llega á la parte superior para engrasar la polea; á 9 metros del suelo hay otra polea montada sobre un carrito movedizo, que sirve para la limpia, verificándose ésta con el auxilio de un cable.

Sobre un emparrillado de gruesas vigas, que corren por bajo de la cábria, está colocado un torno horizontal parecido al de la lámina XXVIII de la segunda edicion del libro *Guide du sondeur*, de los Sres. Dégousée y Laurent, pero movido por medio de una correa. El freno se halla aplicado directamente á la rueda del tambor, resultando en el mismo plano perpendicular á los ejes del torno el botón del disco-manivela, el cojinete sobre que se mueve el balancin y el centro del orificio de sonda. Hay además otro torno para limpiar por cable, semejante al de la lámina XXV: una máquina de vapor horizontal de ocho caballos nominales de fuerza, con caldera independiente de 18 metros cuadrados

de superficie de caldeo, y finalmente una fragua adosada al cobertizo, provista de los útiles necesarios para las continuas reparaciones que ocurren, la cual permite caldear barras de $0^m,12$ de diámetro. Es esta instalacion, algo parecida á la representada en la lámina XXXIX de la citada obra de M. Dégousée, aunque algo más completa. Los útiles de perforacion, trépanos, válvulas, tirantes, cadenas, polea, ganchos, campana de rosca, etc., proceden de la casa de los señores Lippmann y compañía de París, reconocida como la primera para estos trabajos, algunos de los cuales son dignos de llamar la atencion de las personas inteligentes. Los tornos fueron construidos segun diseño de D. Joaquin Reig, director de los trabajos de sondeo, en los talleres de la casa Morris, de Valencia, de donde proceden tambien la caldera y la máquina de vapor.

Coste.—El coste de una instalacion de esta naturaleza con todo el material necesario para llegar á una profundidad de 300 metros con tres diámetros, pero sin tubería ninguna de revestimiento, es de 160.000 á 170.000 rs., no comprendiendo en esta cantidad ni los gastos de portes, ni derechos de aduanas, ni tampoco los jornales invertidos en la colocacion.

Método de sondeo.—El aparato empleado para el sondeo es el llamado de caida libre, de la casa constructora Lippmann, y no nos detenemos en reseñarle porque es el mismo que se describe en la obra de M. Dégoussée y aparece representado en la lámina XXX, figuras 1, 2, 3, 4, 5 y 6 de la misma.

Diámetros. — Del estudio previo del terreno en que se iba á operar, se dedujo que podria llegarse fácilmente á la profundidad de 300 metros, empezando con un diámetro de $0^m,30$, para continuar con $0^m,25$ y terminar con $0^m,20$; y en efecto, se llegó á los 158 metros con el primer diámetro y se esperaba que por lo ménos no habria necesidad de adoptar el tercero.

Entubacion. — Los tubos que corresponden á los tres

diámetros indicados son respectivamente de $0^m,26$, $0^m,21$ y $0^m,165$, hechos con muy buen palastro de $0^m,0035$ de grueso, unidos entre sí por medio de collares y redoblones, y perfectamente ajustados, á fin de que quede el interior de la tubería sin ningun saliente en que puedan engancharse las herramientas que se introduzcan. El precio de estos tubos es por término medio de 1,20 francos el kilógramo en París.

Terreno atravesado.—El cuadro siguiente indica la naturaleza y espesor de las diferentes capas de terreno atravesadas por la sonda.

	Metros.
Suelo vegetal y marga roja	De 0 á 4
Caliza cavernosa	4 á 28,70
Caliza compacta	» 31,45
Caliza cavernosa con alguna marga	» 35,05
Marga roja	» 37,00
Caliza cavernosa con arena y marga roja	» 40,20
Caliza cavernosa con arena amarilla	» 47,50
Arenisca caliza amarillenta	» 64,27
Marga arenisca y pizarrosa gris	» 79,81
Arenisca caliza cavernosa	» 140,07
Caliza blanca	» 142,24
Arenisca amarilla	» 146,57
Caliza blanca	» 147,23
Conglomerado calizo con gruesos granos de sílice	» 157,95

Obra hecha á diferentes profundidades.—Aun cuando es muy difícil precisar la obra hecha á distintas profundidades por dia de trabajo, porque depende, además de la profundidad á que se trabaja, de la naturaleza del terreno atravesado y de los entorpecimientos mayores ó menores que con frecuencia ocurren, en éste caso particular puede deducirse como medio general un avance de $0^m,73$ por dia de once horas de trabajo, de las cuales se empleaban tres en maniobras y en la limpieza del pozo.

Coste de la unidad.—La dificultad de apreciar con exactitud el trabajo hecho imposibilita la asignacion de un precio á la unidad. En el caso particular que estamos examinando

detallaremos el gasto diario, no incluyendo el coste del combustible consumido, que depende de las circunstancias de localidad, ni los honorarios del director del sondeo, porque éste corrió á cargo del Sr. Reig, hijastro del Sr. Aróstegui, dueño de la finca y del material.

Este gasto se descompone en las partidas siguientes:

	Reales.
Un contramaestre	40
Un herrero	18
Un maquinista	16
Tres peones, á 10 rs	30
Grasas, algodon, etc	10
Reparaciones	25
Imprevistos	15
TOTAL	154

por dia, inclusos los dias festivos que tambien se cuentan para el pago.

Accidentes.—Segun la nota que nos ha facilitado nuestro amigo el Sr. Reig, y de la cual hemos extractado los precedentes datos, en la perforacion del pozo del Realengo ocurrieron pocos accidentes, siendo el más importante el que tuvo lugar en Julio de 1879 á consecuencia de un desprendimiento de tierras que, cayendo sobre el trépano, le acuñaron en el fondo, recubriéndole con un espesor de escombro de $2^m,50$.

A causa de la violencia de uno de los esfuerzos hechos para arrancar el trépano, se rompió un tirante de $0^m,035$ de lado, el cual fué cogido inmediatamente por medio de la campana de rosca, y limpiando luégo el pozo con una válvula de $0^m,07$ alrededor del trépano, se consiguió sacarlo, hallándose ya desembarazado de los escombros que le oprimian. Esta es, segun el Sr. Reig, una de las averías más frecuentes y más difíciles de prever: las demás, reducidas en gene-

ral á un tirante que se desatornilla ó se rompe, á un trépano mal guiado que se acuña, á una pieza que cae al fondo, son fáciles de remediar y áun de evitar, si se dispone de buen material, y hay celo y vigilancia en los encargados de ejecutar las operaciones de sondeo.

En Agosto de 1880 visitamos el pozo del Realengo y tuvimos ocasion de apreciar la perfecta instalacion, el excelente material y la direccion inteligente que á la marcha general de las operaciones de sondeo imprimia nuestro amigo el Sr. Reig.

Despues de un exámen minucioso de las máquinas y aparatos, y de haber presenciado las maniobras más comunes del sondeo, nos dió el Sr. Reig amplias explicaciones sobre la constitucion geológica de la cuenca subterránea en que se operaba, sobre el objeto principal del sondeo, los resultados obtenidos hasta el dia, el gasto hecho, las condiciones de la finca y la cantidad de agua que se conceptuaba necesaria para introducir el cultivo del naranjo en una extensa zona de la misma, ventajosamente dispuesta para ello; y terminada la exposicion detallada de estos preliminares, mostró nuestro amigo el mayor empeño en que le manifestáramos nuestra opinion acerca de si convenia suspender los trabajos de perforacion y aprovechar las aguas ascendentes encontradas, ó si, por el contrario, era más conveniente continuar el sondeo hasta averiguar si dentro del límite calculado de los 300 metros se encontraban las aguas surtidoras. Confesamos ingénuamente que nuestro amigo el Sr. Reig nos puso en grave apuro, y que hicimos cuanto nos fué posible para eludir el dar nuestra opinion categórica sobre asunto tan difícil.

Bajo la presion de sus vivas instancias, y salvando la poca importancia que debia dar á nuestro juicio, formado casi tan sólo por impresiones, manifestamos á nuestro amigo que, hallándonos en su caso, y teniendo que decidir en asunto propio, y tomando en cuenta:

1.° El capital invertido ya hasta el momento de la consulta;

2.° El haber encontrado aguas ascendentes con una carga efectiva de más de 100 metros, lo cual hacía presumir que el caudal podia ser considerado como inagotable, áun empleando las bombas de mayor potencia, dado el calibre del pozo y la profundidad de cincuenta y tantos metros á la que se encontraba la superficie libre de las aguas;

3.° La incertidumbre de que este caudal se conservara al atravesar con la sonda nuevas capas permeables;

4.° La inseguridad de encontrar ántes ó despues de los 300 metros calculados las anheladas aguas surtidoras;

5.° El gran valor que adquiere el agua en una comarca en que puede decirse que el naranjo se encuentra en su paraíso, y en la cual hay hectárea de naranjal que se vende al precio de 6.000 duros.

Y 6.° Las excelentes condiciones que una gran parte de la finca del Realengo posee para el cultivo del naranjo, y el gasto insignificante que para la preparacion de las tierras era necesario,

creíamos que, ántes de correr albures que malograran tanto gasto y tanto esfuerzo, instalaríamos en el pozo bombas poderosas movidas por máquinas de suficiente potencia, con el fin de obtener el agua necesaria á la zona que por sus condiciones naturales se prestaba con gran ventaja á ser convertida en huerto de naranjos; con lo cual podia aún hacerse muy reproductivo el capital invertido en el sondeo y el que exigiera la adquisicion, instalacion, trabajo y conservacion de las nuevas máquinas destinadas á la elevacion de las aguas, y la construccion del depósito ó estanque que se considerase necesario.

Debieron parecerle al Sr. Reig atinadas nuestras reflexiones, cuando en nuestra presencia mandó suspender el sondeo, y posteriormente ha realizado el proyecto que sólo en sus líneas generales habíamos bosquejado.

Pozos de Alicante. La comunidad de regantes de la huerta de Alicante, por acuerdo de la junta general celebrada el 27 de Julio de 1879, convino en pagar al contra-

tista de la perforacion del pozo artesiano llamado de Muchamiel, que debia abrirse en el valle de Busot, á 15 kilómetros de la capital, un real mensual por *minuto* de agua que el pozo suministrara. Algunos de los regantes de la huerta protestaron contra el acuerdo de la mayoría, alegando que la ley no obliga á nadie á tomar más agua que la que quiere ó necesita, y el Consejo de Estado opinó que debia eximírseles del pago, obligando, por el contrario, al mismo á los que suscribieron el contrato. Suspendidos los trabajos de perforacion al llegar á la profundidad de 250 metros, por haberse agotado los recursos, es de suponer que sin el concurso íntegro de la comunidad de regantes de la huerta no pueda llevarse á término la obra.

El método empleado en el sondeo fué el órdinario, y el material de perforacion, procedente de una casa belga, costó, puesto en el pozo, unos 48.000 francos, con más 3.200 francos por derechos de introduccion, y 13.600 francos la instalacion, edificios, etc.

Los 30 primeros metros fueron abiertos á brazo y se revistieron de ladrillo, quedando el diámetro de un metro; los 50 metros siguientes están entubados, y su diámetro es de $0^m,95$, y los restantes, hasta la profundidad alcanzada de 250 metros, de $0^m,55$. Segun contrato, el pozo debia bajarse hasta 800 metros, midiendo la base un diámetro de 0,50 metros.

La sonda atravesó unos cuantos metros de formacion diluvial, representada por horizontes de cantos rodados de gran tamaño, alternando con otros de menores dimensiones y con gravas, arenas, arcillas, etc., despues de lo cual atacó la marga azul llamada en el país *tap blau*, de la que no salió todavía á la profundidad alcanzada.

El trabajo ó la obra hecha varió desde $0^m,90$ á $2^m,50$ en veinticuatro horas, segun la consistencia del terreno y la profundidad.

El precio total de la perforacion, tubo de ascension y obras de revestimiento se contrató en 350.000 pesetas, pa-

gaderas por series de 100 metros á razon de 39.000 pesetas por los 100 primeros metros, de 40.000 pesetas por los 100 siguientes, y aumentando sucesivamente 1.000 pesetas por cada 100 metros más de profundidad hasta el límite calculado de 800 metros.

Las aguas que se esperaba suministrase el pozo artesiano de Muchamiel debian destinarse al riego de la huerta de Alicante, junto con las del pantano que tiene la comunidad de regantes en Tíbi.

Pozo de los Angeles. Con el objeto de surtir á Alicante de aguas potables y de riego se estipuló un contrato entre el Sr. Ibarrola y el Ingeniero francés M. Richard (1), contrato en virtud del cual debia empezarse la perforacion con un diámetro de $0^{m},60$, debiendo llegarse en condiciones favorables de diámetro, por lo ménos, á 400 metros de profundidad. La obra de perforacion se calculó en 122.000 pesetas, pagaderas de 10 en 10 metros de profundidad con arreglo á la escala proporcional siguiente:

De 0 á 20 metros á 210 pesetas metro lineal ó sea 4.200 pesetas,
De 20 á 40 » á 220 » » » ó sea 4.400 »

y así sucesivamente aumentando en 10 pesetas el precio de la unidad por cada 20 metros de profundidad, hasta el tipo de 400 pesetas metro por los 20 metros comprendidos entre las cotas 380 y 400.

Los pagos debian efectuarse por series de 10 metros, re-

(1) No hay que confundir al Ingeniero M. Richard con otro M. Richard, abate francés que en 1879 hizo en nuestro país una campaña de exploracion de manantiales, realizando, por medio de una suscricion por pago adelantado, una ganancia considerable con un *sans façon* digno del más despreocupado de nuestros zahoríes andaluces. Por casualidad tuvimos ocasion de tratar en el Escorial por breve rato al abate Richard, y más tarde llegó á nuestras manos el acta de reconocimiento de la zona limítrofe á la poblacion de Santander practicado por dicho señor por encargo del Ayuntamiento de aquella capital, previo el pago de 1.000 duros. No nos atrevemos á emitir juicio sobre los pronósticos del llamado *profeta del agua* por el respeto que nos merece el carácter sacerdotal de que se halla revestido.

teniéndose el 10 por 100 para garantía del cumplimiento del contrato, y cesando este descuento en cuanto se obtuvieran 50 litros de agua por segundo; en cuyo caso, á los seis meses de haberse encontrado el agua, y no habiendo disminuido su caudal, debia entregarse á M. Richard el importe de la garantía. No hallándose esta cantidad de agua, ó si encontrada se perdiese en el plazo de seis meses, la cantidad retenida debia pertenecer de hecho y de derecho al Sr. Ibarrola. Encontrándose el agua ántes de los 200 metros de profundidad se reconocia al contratista el derecho á que se le abonara la mitad del importe de la obra que faltara ejecutar hasta los 400 metros, y si se encontrara despues de los 200 metros debia percibir por entero el pago de lo que faltara perforar. El Sr. Ibarrola se comprometia además á pagar á M. Richard, á título de prima, 600 pesetas por cada litro de agua potable que obtuviera por un segundo, siempre que llegara por lo ménos el caudal á 50 litros, cuya suma debia serle abonada seis meses despues de haberse encontrado las aguas surtidoras.

En Setiembre de 1880 la perforacion habia llegado á 525 metros de profundidad, y en Marzo de 1881 á 583 metros. El corte del pozo de los Angeles hasta la cota 557,20, es el siguiente:

TERRENO	Numeracion de la capa.	NATURALEZA Y CARACTERES DE LA MISMA	ESPESOR — Metros
	1	Suelo vegetal y marga silícea de color oscuro.....	0,40
	2	Marga fina alternando con caliza compacta, blanquecina fosilífera (*ostrea longirostris* y otros moluscos).....	10,20
	3	Arena caliza-silícea, caliza de grano fino y conglomerado calizo con núcleos de greda amarilla.....	3,40
Mioceno inferior..	4	Pudinga brechiforme, guijarros de cuarzo, cuarcita gris y caliza compacta y conglomerados calizos.....	7,00
	5	Marga arcillosa gris y amarillenta.....	5,10
Eoceno inferior...	6	Caliza compacta de estructura cavernosa, muy dura, de color gris azulado, alternando con capas de marga arcillosa del mismo color y á veces con arcilla micácea. Los bancos de caliza se hallan con frecuencia atravesados por filones delgados de caliza cristalina blanca muy dura y muy resistente á la accion de la barrena. Se presentó una capa de agua dulce abundante al principio y otra de agua salada al final.	153,10
Cretáceo superior y medio.....	7	Caliza blanca y gris alternando con capas de marga del mismo color.....	200,00
Cretáceo inferior (creta verde)...	8	Arcilla compacta verde alternando con algunos bancos de caliza verdosa y blanca muy dura y tambien con bancos de arenisca.....	178,00
			557,20

Pozo de Alcoy. Este pozo, aunque iniciado por la Junta de aguas de la fuente del Barchell, cuyo caudal alimenta las 35 fábricas de paños, papel y harinas, se llevó á efecto por la Sociedad de perforacion de pozos artesianos llamada »Neptuno,» dirigida por el Ingeniero industrial D. Enrique Vilaplana. El emplazamiento del pozo se hizo en la hoya de los Baradellos y en la posesion del Sr. Miró, llamada *Nuño,* al pié de la sierra Mariola, perteneciente al terreno cretáceo en un punto designado por el geólogo Sr. Vilanova. Empezó la perforacion á primeros de Agosto de 1879, habiendo atravesado la sonda una ligera capa arcillosa de formacion diluvial, y despues la marga azulada terciaria marina, sembrada de pequeñísimos cristales de roca que le comunican un tacto áspero muy pronunciado, y determinan el desgaste rápido del trépano.

A la profundidad de 60 metros se habian encontrado abundantes aguas ascendentes, aunque no surtidoras. A fin de Diciembre de 1880 habia llegado el taladro á 191^{m},75 con un gasto total de 29.065 pesetas.

Pozos de Málaga. En 1859 decidió el Ayuntamiento de Málaga proceder á la perforacion de un pozo absorbente con objeto de dar salida á las aguas encharcadas en los Tejares de dicha ciudad, cuyas emanaciones se consideraron nocivas á la salud pública.

Abierto el pozo por el procedimiento ordinario de sonda rígida, se atravesó una capa de 43 metros y medio, de naturaleza arcillosa, variando desde la arcilla blanda al barro azul de los tejeros.

En lugar de darse con la capa absorbente que se buscaba, se encontraron á la profundidad citada aguas artesianas, con cuyo feliz hallazgo dicho se está que se renunció de buen grado á continuar la operacion, abandonándose en consecuencia el primitivo proyecto. Revestido el taladro de sonda con una tubería de cobre de 8 centímetros de diámetro, se aprovecharon las aguas surtidoras, cuya fuerza ascensional las llevaba á la altura de 2 metros sobre el nivel del suelo,

siendo conducidas desde este punto por medio de una cañería para su ulterior empleo.

No nos ha sido posible adquirir noticias concretas acerca del volúmen de agua que proporciona por segundo este pozo artesiano debido á la casualidad, aunque se nos dice que es muy variable con las estaciones y que llega á interrumpirse el salto sobre la superficie del suelo en los veranos muy secos. Supónese que la capa artesiana se encuentra en el límite de separacion del barro azul terciario con los esquistos metamórficos del terreno secundario.

En la plaza de la Victoria de la misma ciudad se abrió *de intento* un nuevo pozo, el cual, á pesar de su proximidad al anterior, y de haber penetrado hasta la profundidad de 123 metros, no llegó á dar resultado alguno positivo. Se abandonó la operacion despues de haber bajado la sonda hasta 40 metros dentro de las pizarras que sirven de asiento á las arcillas terciarias.

Pozos de Cataluña. Los trabajos de exploracion de aguas artesianas se iniciaron en Cataluña con el sondeo infructuoso practicado en Barcelona en el año 1834.

Más tarde se hicieron ensayos con éxito vario en la provincia de Gerona, en la region conocida con el nombre de Ampurdan, ensayos de los cuales hemos podido reunir los datos que á continuacion insertamos.

Pozo de Vilabertran.—Este sondeo se practicó en 1847 en jurisdiccion de Vilabertran, á 2 kilómetros de Figueras, y en una propiedad de los Sres. Herederos de Reixach, situada á 22 metros sobre el nivel del mar. Bajó la sonda hasta la profundidad de $98^{m},50$. En los primeros $58^{m},50$ se atravesó un terreno turboso compacto, siguió una capa de arcillas y margas de $12^{m},67$ de espesor, y á continuacion otra de arena de $12^{m},48$ en la cual se encontró un caudal artesiano de 0,275 litros por segundo. Debajo de esta capa se encontró otra de arcilla amarilla de $14^{m},9$ de espesor, habiéndose suspendido la perforacion al observar un aumento de 10 litros y medio por minuto en el último metro del pozo abierto en las arci-

llas. Se dejó la abertura á 1^m,36 sobre el nivel del suelo, y á esta altura daba el pozo 0,55 litros por segundo ó 33 litros por minuto. A 3^m,31 sobre el nivel del suelo habia dado 0,25 litros por segundo. Actualmente sigue el pozo suministrando aguas surtidoras á la altura de 1^m,30 sobre el nivel del suelo, áun cuando se ha notado alguna disminucion en el caudal, disminucion debida sin duda á obstrucciones del taladro por defectos de entubacion.

Pozos de Figueras. En Setiembre de 1848 se practicó un sondeo en un campo de la propiedad de D. Ignacio Sans y Roca, situado en el término de Figueras, á unos 25 metros sobre el nivel del mar.

Las capas atravesadas y su potencia relativa son las que se expresan en el siguiente cuadro:

	Metros.
Tierra vegetal	0,78
Aluviones	9,18
Turba y arena turbosa	44,26
Arenas con conchas marinas	1,00
TOTAL	55,20

El método empleado para la perforacion fué el de M. Fauvelle con bomba de inyeccion. Empezado el sondeo á mediados de Setiembre, se obtuvieron las aguas artesianas el 9 de Noviembre al llegar al banco inferior de arena, y se suspendió la perforacion á consecuencia de los desprendimientos de tierra, sin duda debidos á la falta de entubacion del taladro.

En una propiedad que posee nuestro particular amigo el Excmo. Sr. D. Juan Tutau en las inmediaciones de Figueras hemos visto un pozo artesiano que suministra un caudal de medio litro por segundo, y que sin duda podria aumentarse considerablemente limpiando el pozo y entubándolo convenientemente.

El Sr. Conde de Perelada trató en 1878 de alumbrar

aguas artesianas en el parque contiguo á su palacio, situado en la villa del mismo nombre. Se bajó la sonda en una loma de arcilla de más de 100 metros de espesor, atravesando luégo otros 95 metros de capas alternadas de arcillas y arenas, sin haber podido conseguir más que aguas ascendentes hasta $1^{m},70$ por bajo del nivel del suelo.

Pozo de Vitoria. Fué contratado por el Sr. Lopidana, el cual se comprometió á costear todos los gastos, á condicion de que el Ayuntamiento de la ciudad le abonara 2.000 duros por litro cuando el agua brotara á la superficie, no excediendo el caudal de 50 litros por 1″. En caso de ser el caudal mayor, debian pagarse 1.000 duros por cada uno de los 25 litros siguientes, y llegando á 100 litros el volúmen de aguas que suministrara el pozo artesiano, los 25 litros últimos debian pagarse á razon de 10.000 rs. uno. El pago de las aguas podria además hacerse en títulos al portador de á 250 pesetas, amortizables en treinta años, ó ántes si le conviniera, devengando en tanto el interés de 5 por 100 anual. Si las aguas no salian, nada debia pagarse al contratista, y si no eran potables ó no llegaban á la altura designada, tampoco tendria el Municipio obligacion de tomarlas.

Se dió principio á la perforacion el 22 de Noviembre de 1879 bajo la direccion del Ingeniero M. Richard, el cual se encargó de proporcionar todos los aparatos, los cuales han seguido funcionando hasta la suspension del sondeo.

Segun opinion del Ingeniero de minas D. Ramon Adan de Yarza, no parece que debió preceder á los trabajos de perforacion un estudio serio y detenido de las condiciones geológicas de la comarca, por más que opinase M. Richard que no podia ménos de encontrarse el agua ascendente á no muy considerable profundidad, tratándose de una llanura rodeada por todos lados de montañas, y constituida por terrenos estratificados.

Reseña geológica de la comarca.—La ciudad de Vitoria tiene su asiento en una llanura limitada al Norte por el

monte de Gorbea, en donde se ven los afloramientos de las capas, y puede observarse su superposicion.

La cúspide del Gorbea, que mide 1.512 metros sobre el nivel del mar, está constituida por una potente serie de bancos de arenisca, que buzan hacia el Sur, sobreponiéndose á otra serie no ménos potente de calizas compactas; en éstas, segun el Sr. Adan de Yarza, de quien tomamos estos datos, se reconocen algunos fósiles característicos del tramo cenomanense de la formacion cretácea, y al mismo parece corresponder por lo ménos una parte de las areniscas, á juzgar por los fósiles que ocupan igual posicion. Estas areniscas son de grano más ó ménos fino, y parecen ofrecer diversos grados de permeabilidad, si bien en general se considera á todas las rocas de este género dotadas de esta propiedad.

Encima de las areniscas de Gorbea, y en su vertiente meridional ó mediterránea, se desarrolla una serie de capas de margas y calizas arcillosas que, en las estribaciones de aquella montaña y de las otras que por el Norte limitan el llano de Vitoria, buzan al Sur, guardando la estratificacion concordante con las areniscas, pero que al llegar á la llanura vienen á quedar casi horizontales. En estas margas abundan mucho el *micraster brevis* y otros fósiles característicos del cretáceo superior ó tramo senonense. La llanura en cuestion está limitada al Sur por otra cordillera conocida con el nombre de montes de Vitoria; al aproximarse á ella las indicadas margas vuelven á tomar su buzamiento al Sur para colocarse bajo bancos de caliza, correspondientes tambien al cretáceo, encima de los cuales comienza en estratificacion concordante la serie de terrenos terciarios.

El pozo artesiano se ha perforado en las margas del cretáceo superior, que pueden considerarse como impermeables. De lo dicho se infiere que la disposicion geológica de la llanura de Vitoria parece prestarse á que los trabajos den un buen resultado, siendo probable que bajo las capas de margas impermeables se encuentre alguna capa acuífera al llegar á las areniscas que, segun indica su buzamiento, deben encon-

trarse por bajo de aquéllas; pero desde luégo podia sospecharse que habia que atravesar un gran espesor de margas, como en efecto ha sucedido.

Viéndose que los trabajos avanzaban sin obtenerse el éxito pronosticado por M. Richard, y sin que variara la naturaleza de la roca perforada, la empresa que sucedió á M. Richard en la ejecucion de los trabajos llamó al geólogo francés M. Rollin, el cual practicó un reconocimiento de la llanura y montañas inmediatas. Parece ser que la opinion de M. Rollin era que probablemente se encontraria el agua al llegar á las areniscas, y que la potencia de las margas que habia que perforar no pasaria de 600 á 700 metros, puesto que en ninguna region se conocian formaciones análogas de tanto espesor.

Los trabajos, sin embargo, continuaron hasta la profundidad enorme de 1.021 metros, presentándose siempre las margas del cretáceo y al parecer en estratificacion casi horizontal, lo mismo que en la superficie, si se ha de juzgar por las muestras sacadas de diversas profundidades, aunque no de las mayores.

A causa de la extraordinaria potencia que ofrece esta parte de la formacion cretácea, opina el Sr. Adan de Yarza que, acaso puede sospecharse la existencia de algun repliegue de las capas, inaccesible á la observacion, que haga que la sonda las haya cortado dos veces, en cuyo caso sería muy difícil prever el éxito de los trabajos. No parece, sin embargo, probable un accidente tan brusco en la marcha de las capas que al exterior presentan bastante regularidad, y por lo mismo es más lógico presumir que aquella profundidad debe realmente contarse como espesor del cretáceo superior, que así como el grupo medio de la misma formacion, presenta en este país espesores extraordinarios, segun puede deducirse por los afloramientos de las capas, y desconocidos en otras comarcas constituidas por terrenos del mismo período.

Es lógico, por lo tanto, esperar un buen resultado, si se

llegara á profundizar hasta las areniscas, áun cuando tal vez no haya suficientes datos para calcular la profundidad á que deben encontrarse. Un exámen minucioso y muy detenido de los afloramientos de las margas y de su inclinacion en la llanura y en las estribaciones de las montañas que por el Norte la limitan, podria tal vez dar indicaciones aproximadas del espesor que aún falta atravesar para llegar á las areniscas, y para que no se malogren los sacrificios con tanta constancia hechos, cuando acaso el agua se encuentre á corta profundidad del fondo del pozo.

Detalles del sondeo.—Comenzóse el pozo con un diámetro de $0^m,45$ hasta llegar á la profundidad de $21^m,70$; se le redujo á $0^m,35$ hasta la de 63 metros, continuando luégo con $0^m,33$ hasta los 100 metros, y con $0^m,32$ hasta 500, desde cuya profundidad siguió con un diámetro de $0^m,30$ hasta los $1.009^m,16$, habiéndose despues adoptado el diámetro de $0^m,18$ con el que se ha llegado á 1.021.

Los primeros trabajos se hicieron á brazo y operando con todo el peso de la sonda hasta que, á la profundidad de 100 metros, se instalaron motores de vapor, y se adoptó uno de los aparatos llamados de *caida libre* que dejan caer el trépano sobre el fondo del pozo desenganchándolo de la sonda. El aparato adoptado es el llamado de *caida libre por reaccion*, que, como su nombre indica, está fundado en el principio de la fuerza viva, y es notable por la sencillez del sistema de desenganche que permite una percusion rápida, y su empleo es, sobre todo, ventajoso en pozos de mucha profundidad y corto diámetro.

Este aparato se reduce esencialmente á dos barras aplanadas de hierro reunidas por sus extremos superiores, y mantenidas á igual distancia por una clavija; en su interior puede resbalar, convenientemente guiada, otra barra que por su extremo inferior va unida al trépano, y por el superior termina en un gancho. Este gancho se adapta á otra pieza sostenida por un eje que atraviesa las dos barras primeramente citadas, cuyo eje puede moverse en un agujero

de forma oval. El extremo superior del aparato se atornilla á las barras que componen la sonda, y la cabeza de ésta va unida al extremo de un balancin de madera movido por una máquina de vapor y equilibrado por un fuerte contrapeso. Este balancin choca contra un tope, imprimiendo así una reaccion á la sonda que se trasmite de abajo para arriba. Estando fijada la sonda á la cabeza del balancin no puede moverse; pero la parte inferior, compuesta del trépano y la barra que termina en el gancho referido, sigue su movimiento de ascenso, y entónces el eje, que se mueve en el agujero oval, elevándose con la pieza superior, obliga á ésta á ocupar una posicion inclinada, desprendiéndose del gancho unido al trépano, el cual cae libremente al fondo del pozo. El motor vuelve á bajar el extremo del balancin á que va unida la sonda, y la pieza superior vuelve á engancharse con la que lleva el trépano, y á elevarla cuando sube el balancin, hasta que un nuevo choque la desengancha y la deja caer con dicho trépano.

Los trépanos que se han usado son de un solo corte ó cincel, y obran por percusion, variando la posicion mediante el giro de las barras practicado desde la cabeza de la sonda. El peso de la caida es de 220 kilógramos para un diámetro de $0^{m},30$.

Los útiles de limpia y reparacion de averías son los ordinarios en esta clase de operaciones.

Los motores, alimentados por una misma caldera, son dos, uno para el trabajo del trépano y otro para la extraccion de la sonda y la cuchara. La máquina para el trabajo es de cilindro vertical, cuya varilla obra sobre el balancin ántes mencionado y puede desarrollar un trabajo de 20 caballos trabajando á cuatro atmósferas de presion. La máquina motriz para la extraccion es de dos cilindros horizontales, y da movimiento á un torno en que se arrolla un cable plano que pasa por una polea colocada á 13 metros de altura sobre el brocal del pozo, con objeto de poder atornillar y desatornillar las barras de la sonda, que miden $12^{m},50$ de

longitud. Un engranaje cónico, que se desembraga á voluntad, trasmite el movimiento de la misma máquina á un torno en que se arrolla un cable de alambre, de cuyo extremo se suspende la cuchara que sirve para la extraccion de los detritus.

A la profundidad á que han llegado los trabajos, la extraccion de la sonda dura dos horas, y hora y media su descenso. En la subida y bajada de la cuchara se invierten treinta y cinco minutos, verificándose esta operacion hasta cuatro veces por un trabajo de diez y seis horas.

Las barras tienen, como va dicho, $12^m,50$ de longitud, empleándose tambien algunas de la mitad de esta dimension; son huecas y tienen un diámetro exterior de $0^m,035$ y un espesor de $0^m,003$.

La rapidez de la perforacion ha variado bastante; á los 850 metros se ha llegado á perforar $1^m,50$ como máximo, siendo el mínimo un metro para un trabajo diario de quince ó diez y seis horas.

No ha habido necesidad de revestir las paredes del pozo por ser la roca bastante consistente; sin embargo, por indicacion de M. Rollin, y temiendo que hubiese algun escape de agua por las fisuras del terreno, se hizo un ensayo de entubacion hasta los 121 metros de profundidad, sin obtener el resultado apetecido, por cuya razon se volvieron á extraer los tubos.

Un accidente ocurrido en Octubre de 1881 paralizó los trabajos de perforacion que ya no volvieron á reanudarse. El trépano quedó tan fuertemente adherido á las paredes del pozo, que resultaron inútiles cuantas tentativas se hicieron para extraerlo.

Comparando la profundidad del pozo de Vitoria con los más notables abiertos en Europa, resulta aventajarles á todos, pues es sabido que el de Grenelle no pasa de 547 metros; el de Passy no llega á los 600; el de las Salinas de Salzwerk tiene 644 metros; el de Mondorff 730; el de Buda-Pesth, concluido con feliz éxito en 1878, y que hasta aquella

fecha era el más profundo, mide 970 metros, ó sean, 51 ménos que el de Vitoria.

Coste—Los trabajos se hicieron por diferentes empresas, y unas veces por contrata y otras por administracion. En los últimos 40 metros vino á costar unas 125 pesetas el metro de avance, y el coste total de la obra se calcula en 150.000 pesetas.

Temperaturas observadas á distintas profundidades.—Son interesantes las observaciones termométricas hechas en las diferentes profundidades, y á continuacion trascribimos el cuadro que el director de los trabajos, D. Luis Anitua, facilitó al Sr. Adan de Yarza.

Profundidades — *Metros*	Grados centígrados
5	14,00
20	13,50
40	13,00
60	13,50
80	13,50
100	14,25
120	15,00
150	15,75
200	17,10
300	19,50
350	21,00
400	22,50
450	23,75
500	25,00
600	27,00
650	29,50
700	31,12
800	34,25

Considerando en conjunto los resultados de estas observaciones, no difieren mucho de los que corresponden á la ley más generalmente admitida sobre el aumento de la temperatura en la corteza terrestre, ó sea el de un grado por cada 30 metros; pero no deja el cuadro de presentar algunas

anomalías, como el corto aumento de dos grados entre los 500 y 600 metros, y el muy rápido de dos y medio grados entre los 600 y 650 metros.

Paralizacion de los trabajos de perforacion.—Una de las cláusulas del contrato celebrado entre el Municipio de Vitoria y el contratista del sondeo, Sr. Gonzalez de Lopidana, contrato elevado á escritura pública en 13 de Noviembre de 1880, prevenia que "se entenderia roto y sin valor ni efecto el contrato, si los trabajos no dieren resultado para el dia 15 de Febrero de 1882, pasado cuyo término el Sr. Lopidana renunciaba en favor del Municipio las obras ejecutadas en el estado en que se encontraran."

Por desgracia para la empresa y para Vitoria el plazo fatal de 15 de Febrero de 1882 llegó sin que, á pesar de los esfuerzos verificados por la primera, salieran las aguas apetecidas, y sin que ningun accidente geológico acusara su proximidad.

En 23 de Enero de 1882 dirigió el Sr. Lopidana una instancia al Municipio suplicando se le concediera un nuevo plazo para continuar las obras de perforacion, á la cual contestó la Corporacion manifestándole, entre otras cosas, "que no hallaria inconveniente en otorgarle la autorizacion para continuar los trabajos de perforacion, por un tiempo limitado, por cuenta y riesgo de la empresa; pero cesando ya todo otro compromiso por parte del Ayuntamiento de tomar ni pagar las aguas que se descubrieran, para cuyo evento sólo se reservaba la potestad de hacer un nuevo arreglo si lo tuviere por conveniente, sin anticipar sobre ello obligacion alguna, ántes bien, quedando desligado totalmente de ella."

A este acuerdo del Municipio contestó el apoderado del empresario, en 15 de Febrero de 1882, manifestando que se hacía imposible la continuacion de los trabajos de perforacion, si á las dificultades materiales, y á la contingencia de un resultado favorable, se unia la inseguridad de que las aguas, una vez conseguidas, tuvieran colocacion. Fundado

en estas y otras razones propuso para proseguir la perforacion del pozo las siguientes condiciones:

1.ª Que se impetrara por el Ayuntamiento, de consuno con el Sr. de Lopidana, una subvencion del Gobierno de la Nacion que permita continuar un trabajo y un estudio geológico tan interesante como trascendental.

2.ª Que en caso de que se obtuviera la indicada subvencion, y el éxito coronara tan importantes trabajos, se descontaria al Ayuntamiento de Vitoria del importe de las aguas de que se hiciera cargo la cantidad total que por subvencion el Sr. de Lopidana hubiere percibido del Gobierno, viniendo á resultar en definitiva en favor del Ayuntamiento la subvencion que se concediera.

3.ª Que continuara en vigor la escritura hecha con el Sr. de Lopidana á la cual se añadirian las dos cláusulas precedentes.

El Ayuntamiento se encerró en su anterior acuerdo sin ofrecer al contratista más que un apoyo moral enteramente ilusorio, y dicho se está que con esta última decision quedó abandonada toda idea de reanudar los trabajos. Creemos del caso hacer constar que el Regidor D. Odon Apraiz formuló voto particular razonado, favorable á las modestas pretensiones del Sr. Lopidana.

LOCALIDADES DE ESPAÑA QUE Á JUICIO DE ALGUNOS GEÓLOGOS REUNEN CONDICIONES FAVORABLES PARA EL ALUMBRAMIENTO DE AGUAS ARTESIANAS.

A juicio del eminente geólogo D. Casiano de Prado, en la provincia de Madrid, á juzgar por lo que se observa en la misma y en la de Guadalajara, en la base del terreno terciario se hallarian rocas detríticas ó areniscas más ó ménos blandas, que son favorables para la perforacion de pozos artesianos, y despues pudiera presentarse el terreno cretáceo, en cuya base hay tambien areniscas. A la profundidad de 195 metros que tenía el pozo artesiano del Sr. Matheu, era

sabido, segun el citado Ingeniero, que no se llegaria á dichas rocas, puesto que apenas se habia pasado del nivel á que se hallan á la vista en Aranjuez las arcillas y yesos del mismo terreno, dispuestos como en Madrid por capas horizontales.

El Sr. Vilanova, en su *Memoria geognóstico-agrícola de la provincia de Teruel,* señala como puntos que reunen condiciones á propósito para la perforacion de pozos artesianos Cantavieja y Mirambel, el Más de las Matas, Calanda, la Ginebrosa, Camarillas y Rubielos en la region cretácea; en la jurásica indica Sarrion, Calomarde, Guadalaviar y Griegos; en la triásica, aunque con ménos probabilidades que en las anteriores, dice que podrian intentarse en Arcos, Manzanera y Hoz de la Vieja. Respecto al territorio ocupado por el silúrico, en razon á las dislocaciones frecuentes que este terreno ofrece, pueden fundarse pocas esperanzas de buen éxito. En la region terciaria podrian intentarse en algunos puntos de la cuenca del rio Cella, segun se deduce de la existencia de los famosos Ojos de Montereal, y en Calanda.

En la provincia de Castellon de la Plana, á juicio del mismo Sr. Vilanova, podrian intentarse ensayos de perforacion con probabilidades de éxito en las dos grandes llanuras que se extienden desde Almenara hasta Benicásim, y desde Oropesa á Torreblanca; en los valles de Ribamar, Estopet y Alcalá; en la llanura de Benicarló y Vinaroz, como lo atestigua la fuente de Peñíscola; en la hermosa vega de San Mateo y en las de Albocácer y Cuevas, como bifurcacion de aquella; en las cuencas de Morella y Cinc-Torres, por lo que toca á la region ocupada por el terreno cretáceo. En Jérica, Vivel, Bejís y en toda la falda del terreno jurásico, desde este punto hasta la Masía de Rivas, tambien existen condiciones para pozos artesianos. No sucede lo propio respecto á las vertientes oriental y occidental de la Sierra Espadan, y hay que ir para encontrarla á la extremidad meridional en la Villavieja, la Vall y Valletes.

CAPÍTULO XVII.

ELEVACION DE LAS AGUAS POR MEDIOS MECÁNICOS

MOTORES.

Para terminar el estudio de los medios generales de procurarse el agua de riego, cuya clasificacion hicimos en el CAPÍTULO VIII, sólo nos falta examinar el caso en que, encontrándose las aguas disponibles á un nivel inferior al de los terrenos que deben regarse, hay necesidad de proceder á su elevacion por medio de máquinas.

Este procedimiento de obtencion de aguas, altamente favorable al ejercicio de la actividad aislada é independiente del propietario, posee la ventaja de poder ser aplicado en un punto cualquiera, en las corrientes naturales, en sus derivaciones, y hasta dentro de la misma parcela en que las aguas deben recibir una aplicacion inmediata.

Para elevar las aguas á una cierta altura habrá en general necesidad de recurrir á dos clases distintas de máquinas: unas, que son las verdaderas máquinas elevatorias, tendrán por objeto recoger las aguas en un punto bajo para verterlas á un nivel superior; y otras, que son los receptores de la fuerza motriz, se destinarán á comunicar el movimiento á las primeras.

Antes de entrar en el estudio de las máquinas de uso conveniente para los riegos, dentro de las dos categorías establecidas, creemos indispensable dejar sentados algunos preliminares para facilitar la inteligencia de las consideraciones

de carácter práctico que han de constituir casi exclusivamente el objeto de la reseña que de las citadas máquinas hagamos.

Se llama *trabajo* de una fuerza el producto de la intensidad de esta fuerza por el camino recorrido por su punto de aplicacion en un tiempo dado. La unidad de fuerza se suele representar por el peso de un kilógramo. La unidad de trabajo generalmente adoptada es el *kilográmetro,* ó el trabajo realizado al elevar un kilógramo de peso á un metro de altura en un segundo de tiempo.

Entrando en la composicion del trabajo dos factores, que son la fuerza y el camino recorrido por su punto de aplicacion, podrán modificarse estos dos factores de modo que su producto dé una cantidad constante, en cuyo caso se producirán trabajos equivalentes. Así, por ejemplo, si en un segundo de tiempo se eleva á una altura de 2 metros un peso de 12 kilógramos, se obtendrá un trabajo representado por $2 \times 12 = 24$ kilográmetros, y este trabajo es equivalente al realizado elevando en el mismo tiempo 2 kilógramos á 12 metros de altura, ó 6 kilógramos á 4 metros, ó 4 kilógramos á 6 metros, etc.

Para la medida del trabajo desarrollado por las máquinas de cierta potencia, se emplea otra unidad 75 veces mayor que el kilográmetro y se llama *caballo dinámico* ó simplemente *caballo*, ó tambien *caballo de vapor* cuando se aplica á las máquinas de vapor, y *caballo hidráulico* cuando se emplea para la medicion del trabajo desarrollado por las máquinas cuyo motor es el agua. El caballo dinámico equivale por lo tanto á 75 kilográmetros, y representa el trabajo realizado al elevar á un metro de altura en un segundo de tiempo un peso de 75 kilógramos.

Las máquinas tienen por objeto modificar los factores del trabajo en la relacion conveniente al uso industrial á que se destinan; de modo que unas veces aumentan la fuerza á expensas de la velocidad, y otras aumentan ésta á expensas de la primera. Muy léjos de aumentar las máquinas el tra-

bajo de la fuerza motriz, destruyen por el contrario una parte de aquel, mayor ó menor, en virtud de los rozamientos, choques, vibraciones, etc., que entre sus diversos órganos se producen; así es que el *efecto útil* de una máquina es siempre una fraccion del *trabajo motor,* y será tanto más perfecta la máquina cuanto menores sean las pérdidas de trabajo por las *resistencias pasivas,* ó lo que es lo mismo, cuanto más se aproxime al trabajo motor el efecto ó trabajo útil.

Hechas estas indicaciones, vamos á pasar al exámen de las máquinas, limitándonos á reseñar lo absolutamente indispensable para guiar al propietario en la eleccion de las más convenientes en las distintas circunstancias en que para el riego haya necesidad de proceder á la elevacion de las aguas. Empezaremos nuestro bosquejo tomando en cuenta los motores, dejando el estudio de las máquinas elevatorias propiamente dichas para el capítulo inmediato.

MOTORES.

Los motores ó causas originarias de fuerza pueden dividirse en dos grandes grupos que suelen designarse respectivamente con los nombres de *motores de sangre* ó *animados* y *motores inanimados.* En el primer grupo se comprende al hombre y á un cierto número de animales domésticos; de los comprendidos en el segundo grupo sólo tomaremos en cuenta para nuestro especial objeto los saltos ó corrientes de agua, el viento, y la fuerza expansiva del vapor.

Suelen tambien designarse en el lenguaje comun, y áun en el científico, con la denominacion de motores los aparatos *receptores* de las fuerzas que los motores propiamente dichos producen; así se llama motor hidráulico á la máquina que recibe la accion del agua y trasforma los elementos del trabajo producido por aquella, y motores de vapor, motores de viento, etc., á los receptores de las fuerzas respectivas destinados al mismo objeto.

MOTORES DE SANGRE Ó ANIMADOS.

Empleo de la fuerza muscular del hombre. La fuerza muscular del hombre se emplea como motor para la elevacion del agua destinada al riego, aunque casi siempre en reducida escala. Al efecto puede actuar aquélla de distintos modos, que expodremos sucintamente, siguiendo el método adoptado por M. Barral en su tratado de riegos, y aprovechando los datos que consigna, datos que por lo demás figuran en todas las obras de Mecánica aplicada.

Polea y cuerda. Cuando el hombre eleva una vasija cualquiera por medio de una cuerda y una polea, lo cual le obliga á descender de vacío el vaso ó cubo que sirve de recipiente, ejerce un esfuerzo medio de 18 kilógramos con una velocidad por segundo de $0^{m},20$, correspondientes á un trabajo de 3,6 kilográmetros en el mismo tiempo, ó de 77.760 kilográmetros por dia de trabajo de á 6 horas. Si tiene, por ejemplo, que elevar el agua de un pozo cuya profundidad es de 10 metros, el trabajo mecánico que se le podrá exigir, valiéndose de los medios indicados, es el peso del agua elevada multiplicado por 10 metros; y como el trabajo diario lo hemos representado ántes por 77.760 kilográmetros, es decir, por el que se ejecuta al elevar en el mismo tiempo 77.760 kilógramos de peso á un metro de altura, cuando ésta sea diez veces mayor, esto es, de 10 metros, el peso elevado será diez veces menor ó sea de 7.776 kilógramos. Ahora bien, el peso de un kilógramo de agua corresponde próximamente al volúmen de un litro, y los 7.776 kilógramos elevados á 10 metros de altura en las seis horas de tarea, corresponderán, por consiguiente, á un volúmen de poco más de 7 metros y medio cúbicos, cantidad insignificante para que pueda aplicarse el procedimiento indicado de elevacion de aguas á los riegos en grande escala.

Rueda de clavijas. Puede tambien emplearse el hombre como motor, haciéndole subir por los escalones ó clavijas

colocadas en la circunferencia de una rueda móvil alrededor de un eje que pasa por su centro. En este caso, actuando el peon próximamente al nivel del eje de la rueda, ejerce por su peso un esfuerzo medio de 60 kilógramos, con una velocidad de $0^m,15$, y produce, por lo tanto, un trabajo medio de 9 kilográmetros por segundo, ó de 259.200 kilográmetros en ocho horas de tarea. Vemos, por consiguiente, que si la altura á que hay que elevar el agua es pequeña, podrá obtenerse por este medio un volúmen bastante considerable.

Tornos, cábrias, ruedas dentadas, etc. Las cábrias, los tornos ó las ruedas dentadas armadas de cigüeña ó manivela son los medios más frecuentemente empleados para utilizar la fuerza muscular del hombre. Al actuar un peon sobre una manivela ejerce un esfuerzo medio de 8 kilógramos con una velocidad de $1^m,10$ por segundo, correspondientes á un trabajo en el mismo tiempo de 5,5 kilográmetros, ó de 158.400 en ocho horas de tarea.

Baromotor Bozerian. Este aparato, destinado á sacar el mayor partido posible de la fuerza muscular del hombre, se compone de dos pedales articulados sobre tres ó cuatro palancas, segun los casos, de igual longitud, las cuales giran alrededor de su punto medio. El pedal delantero es más alto que el de atrás con el objeto de obligar al peon á levantar la pierna que va delante, y distribuir de este modo el trabajo entre los músculos de ambas piernas.

Cuando conviene trasformar el movimiento circular alternativo del pedal en circular continuo de un volante, por ejemplo, la cola del pedal delantero se fija á una biela terminada por una barra, á la que se apoyan las manos, la cual permite retrasar ó acelerar la velocidad del movimiento, y principalmente ofrece el medio de vencer con facilidad los puntos muertos. El peon, empujando la barra cuando la biela se halla en el punto muerto superior, y tirando de ella cuando está en el inferior, mantiene la uniformidad del movimiento circular, áun cuando la velocidad sea pequeña.

El boton de la manivela puede moverse en una correde-

ra, lo cual permite hacer variar la velocidad entre límites muy marcados segun la clase de trabajo que quiera efectuarse. Cuando hay necesidad de vencer grandes resistencias se separa lo más posible el boton de la manivela del centro de la rueda; en cuyo caso puede ejercerse un trabajo de 45 á 50 kilográmetros para cada vuelta, aunque, si se quiere evitar una fatiga excesiva, el número de vueltas no debe pasar de 20 á 25 por minuto. Si, por el contrario, se quiere aumentar la velocidad á expensas de la fuerza, se coloca el boton de la manivela en el extremo opuesto de la corredera, en cuyo caso puede un peon producir 60 vueltas por minuto con un trabajo de 15 kilográmetros por vuelta, y por consiguiente por segundo.

Esta cifra de 15 kilográmetros por segundo para un trabajo continuo, que aparece exagerada, se explica de la manera siguiente: hemos indicado que un peon, subiendo por los peldaños de una rueda de clavijas, desarrolla un trabajo medio de 9 kilográmetros por segundo, miéntras que no produce más de 6 á 8 kilográmetros actuando sobre un manubrio. El baromotor combina los dos esfuerzos, es decir, el que resulta de la accion de su propio peso y el que puede ejercer por medio de los músculos de sus brazos.

No estando acostumbrados los músculos de los miembros inferiores á trabajar tanto como los de las extremidades superiores, el peon necesita algun tiempo de ejercicio para llegar á producir el trabajo máximo de 15 kilográmetros; pero desde el primer dia, y sin gran fatiga, suministra un trabajo de 12 kilográmetros, que representa el de dos hombres trabajando con manivela ó manubrio.

El baromotor para dos hombres tiene la ventaja de poder servir tambien para uno solo, y de poner, por lo tanto, á disposicion del que lo utiliza un trabajo que varía desde 6 hasta 30 kilográmetros por segundo, segun que emplee un niño, ó uno ó dos hombres para mover el baromotor.

Malacate. Finalmente, puede trabajar el hombre tirando ó empujando, por ejemplo, el extremo de un brazo de

palanca, y caminando por la pista de un malacate. Un obrero, tirando de una cuerda apoyada en su hombro, ejerce un esfuerzo medio de 14 kilógramos, con una velocidad de $0^m,60$ por segundo, correspondiente á 8 kilográmetros en el mismo tiempo, y á 251.120 kilográmetros en ocho horas. Si dicho obrero anda empujando, no ejerce más que un esfuerzo de 12 kilógramos con la misma velocidad de $0^m,60$; el trabajo queda, por lo tanto, reducido á 7,2 kilográmetros por 1", ó á 207.360 en las ocho horas. Se admite como término medio que el trabajo de un peon tirando de un malacate de poceros equivale por ocho horas de tarea á 200.000 kilográmetros.

Empleo de la fuerza muscular de algunos animales domésticos. Los animales domésticos empleados como motores para la elevacion de aguas van generalmente enganchados á un malacate, y el trabajo mecánico que produzcan variará evidentemente con la raza, el peso, la edad, el régimen alimenticio, etc., de dichos animales: daremos, sin embargo, algunos tipos que puedan servir de término de comparacion en la práctica.

Fuerza del caballo. Un caballo de un peso medio de 320 kilógramos, trabajando ocho horas al dia, ejerce en el tiro un esfuerzo de 98 kilógramos con una velocidad de $0^m,46$ por segundo, ó un esfuerzo de 45 kilógramos con una velocidad de $0^m,90$, ó de 30 kilógramos con la de $1^m,20$. En los tres casos, el trabajo por segundo está respectivamente representado en kilográmetros por los números 45,08 40,50 y 37,2, y en las ocho horas de tarea por los números 1.298.304 kilográmetros, 1.166.400 kilográmetros, 1.070.360 kilográmetros; cuyos resultados ponen de manifiesto la ventaja que resulta de no aumentar la velocidad de la marcha del caballo. Es verdad que podria obtenerse por segundo una cantidad mayor de trabajo exigiendo del caballo un mayor esfuerzo de traccion, ó un aumento de velocidad en la marcha; pero no es ménos cierto que, en cambio, por la naturaleza misma de este agente mecánico, habrá que disminuir la du-

racion de la tarea diaria. Así, por ejemplo, un caballo que marche al trote podrá ejercer un esfuerzo de 30 kilógramos con una velocidad de 2 metros, ó sea un trabajo de 60 kilográmetros; pero en este caso sólo se le podrá hacer trabajar durante 4,30 horas, quedando el efecto útil reducido á 972.400 kilográmetros.

Fuerza del mulo. El mulo que marcha con la velocidad de $0^m,90$ por segundo ejerce un esfuerzo de 30 kilógramos, y produce un trabajo mecánico de 27 kilográmetros en el mismo tiempo, ó sea de 777.690 kilográmetros en ocho horas.

Fuerza del asno. Cuando la velocidad con que anda el asno es de $0^m,90$ por segundo, su fuerza media es de 15 kilógramos, y el trabajo producido en el mismo tiempo de 13,5 kilográmetros ó de 388.800 en ocho horas.

Fuerza del buey. Finalmente, el buey trabajando ocho horas diarias ejerce en el tiro un esfuerzo medio de 65 kilógramos, con una velocidad de $0^m,60$ por segundo, ó un esfuerzo de 50 kilógramos con una velocidad de $0^m,80$, correspondientes respectivamente á un trabajo de 39 á 40 kilográmetros por $1''$, ó sea de 1.120.000 kilográmetros en todo el dia.

Malacates. Los malacates, á que ordinariamente se aplican los diversos motores animados, están destinados á dar una velocidad más ó ménos considerable á una barra ó palanca horizontal, de la que recibe su movimiento la máquina elevatoria; así es que, segun sea ésta, deberán aquéllos estar diversamente combinados. Diremos únicamente que la palanca á que va aplicado el motor animal se halla inserta en un eje vertical, que adquiere un movimiento directo de rotacion susceptible de trasformarse convenientemente por medio de engranajes. La palanca sobre que actúa el motor suele tener de 3 á $3^m,50$; de modo que la pista del malacate es una circunferencia de 19 á 22 metros de longitud rectificada, que recorre el motor de $2^m,5$ á $2^m,8$ veces en un minuto, andando con una velocidad de $0^m,90$ por segundo. Esta

clase de máquinas, estando bien construidas, absorben á lo más $\frac{1}{10}$ del trabajo motor, ó lo que es lo mismo, producen un efecto útil de $0^{m},90$. Con estos datos puede calcularse para cada caso el trabajo trasmitido por el malacate á la máquina elevatoria.

Un malacate de hierro, perfectamente construido, pudiendo recibir una ó dos palancas, con engranaje, polea, volante con contrapeso para equilibrar las varillas y todos los órganos necesarios, sin exigir cobertizo que lo resguarde de los efectos de la intemperie, y de un peso de 482 kilógramos, cuesta en Madrid 2.560 rs.

Los malacates Lavie, que son los mejor construidos, se obtienen por los siguientes precios en la fábrica:

	Reales.
Modelo pequeño para bomba.....	1.850
Idem núm. 1 para una ó dos caballerías (fijo)....	2.600
Idem id. (locomóvil).....	3.200
Idem núm. 2 para dos ó tres caballerías (fijo)....	3.200
Idem id. (locomóvil).....	4.000
Idem núm. 3 para cuatro ó seis caballerías (fijo)..	4.800
Idem id. (locomóvil).....	5.500

Los gastos de instalacion suelen calcularse en un 10 por 100.

MOTORES INANIMADOS.

MOLINOS DE VIENTO.

La naturaleza pone á disposicion del hombre, por medio de las corrientes atmosféricas, una fuerza gratuita que la industria ha aprovechado con los receptores denominados *molinos de viento*. Esta clase de receptores son sumamente económicos, puesto que no representan más gasto que el correspondiente al interés y amortizacion del capital em-

pleado en la adquisicion é instalacion del aparato, y el relativo á su conservacion y entretenimiento.

Las ventajas del empleo del viento como motor están en cambio compensadas por el inconveniente de la irregularidad de la fuerza motriz, sujeta á las intermitencias y á los cambios de intensidad de las corrientes atmosféricas. Este defecto es de escasa importancia para las aplicaciones del citado motor á los trabajos de agotamiento de los terrenos encharcados, así es que su uso se halla muy extendido para los trabajos de dicha naturaleza que se practican en Holanda y en el Norte de Francia; pero tratándose de aplicarlo á la elevacion de las aguas de riego, que deben distribuirse en cantidad determinada y en tiempo oportuno, sólo pueden emplearse como motores, construyendo al mismo tiempo un estanque ó depósito que almacene las aguas elevadas para su distribucion en cantidad y períodos convenientes.

Desde el año 1840 se han llevado los molinos de viento á un grado de perfeccion tal que, en los sistemas modernos, esta clase de motores se orientan y arreglan automáticamente, es decir, abren ó recogen las aspas por sí mismos, segun la intensidad del viento, y se colocan en direccion normal á la del aire para utilizar mejor su fuerza impulsiva, y no exigen más cuidado que el de reponer de tarde en tarde el aceite que se va gastando gota á gota de un pequeño depósito para la conveniente lubricacion de las superficies sujetas á rozamientos.

Molinos de viento perfeccionados de más frecuente uso en España. Los motores de viento de construccion moderna que más se han difundido recientemente en nuestro país son los ideados y construidos por el Sr. Oller, de Barcelona, y los que construyen las casas Corcoran, de Nueva-York, y Filler, de Hamburgo. En el molino de viento del Sr. Oller la rueda motriz se halla constituida por dos aros fijos concéntricos, en los cuales van insertas de una manera invariable unas tiras estrechas de palastro, alabeadas, formando persiana, y dispuestas en el sentido de los radios.

La orientacion automática se obtiene por el procedimiento comun á todos los sistemas. La regulacion se consigue tambien automáticamente variando la proyeccion de la superficie de la rueda motriz contada en un plano perpendicular á la direccion del viento hasta reducirse al mínimo, ó presentándose la rueda de canto cuando la velocidad del viento llega al límite calculado. Este efecto se produce mediante el auxilio de un regulador ordinario de fuerza centrífuga, el cual, por un movimiento de alza, cuando la velocidad se acelera, determina el giro de una veleta de eje perpendicular á la direccion del viento, de modo que, presentándose primero de canto cuando la velocidad de la rueda motriz es la normal, va ofreciendo un obstáculo mayor á medida que aquélla aumenta. El movimiento de giro de la veleta alrededor de su eje longitudinal se combina por medio de un engranaje con el giro de la rueda motriz, hasta ofrecer ésta su canto á la direccion del viento en el caso ántes indicado.

Los molinos de viento de construccion extranjera, que hemos indicado, ofrecen bastantes analogías en su mecanismo: en ambos modelos está constituida la rueda motriz por una serie de aspas en forma de trapecios circulares dispuestas en persiana por medio de planchas de hierro fijas, y formando en conjunto un anillo ó corona que gira alrededor de un eje perpendicular al plano en que se hallan todas las aspas cuando la rueda marcha en condiciones normales. La regulacion se obtiene por medio de un contrapeso, el cual, segun la fuerza que el viento ejerce sobre dichas aspas, determina una inclinacion mayor ó menor de éstas con relacion al eje de giro, ofreciendo por lo tanto una superficie más ó ménos considerable á la accion del viento.

Las citadas casas constructoras tienen representantes en las principales capitales de España.

MOTORES HIDRÁULICOS.

El agua al caer desde cierta altura produce un trabajo que depende de su masa y de su velocidad, y de la naturaleza del receptor que lo aprovecha y lo trasforma. Si V es el volúmen en litros que proporciona por segundo un salto de agua, y H la altura de caida expresada en metros, el trabajo disponible en kilográmetros será VH, y en caballos $\frac{VH}{75}$. Los motores, ó con más propiedad, los receptores hidráulicos, trasmiten solamente de $0^m,25$ á $0^m,80$ de este trabajo al árbol horizontal que comunica el movimiento á la máquina elevatoria.

No entraremos en el estudio técnico de los diferentes receptores hidráulicos, y nos limitaremos á consignar algunos datos prácticos, como síntesis que debe guiar al propietario para la eleccion más conveniente en cada caso.

Adoptando la clasificacion generalmente admitida, aunque no del todo lógica, dividiremos los receptores hidráulicos en dos grandes grupos, á saber: ruedas de eje horizontal, y ruedas de eje vertical.

Ruedas de eje horizontal.—Ruedas inferiores de paletas planas. Las antiguas ruedas de paletas planas *(rodetes ó rodeznos)* que reciben el agua por su parte inferior, se mueven en el interior de canalizos, en los cuales queda un juego ó espacio libre más ó ménos considerable. Las paletas son de madera de $0^m,30$ á $0^m,40$ de longitud en el sentido de los radios de la rueda, y el intervalo que separa á dos consecutivas, tomado en la circunferencia exterior, viene á tener próximamente la misma medida; el ancho de las paletas varía con la seccion de la corriente. Se da al canalizo una pendiente de $\frac{1}{15}$, aumentándose ésta á partir del punto que corresponde á la proyeccion horizontal del centro de la rueda, á fin de facilitar la salida del agua cuando ésta ha ejercido su accion sobre el aparato.

Para obtener el máximo efecto útil, es preciso que la ve-

locidad de la circunferencia exterior esté comprendida entre $0^m,33$ y $0^m,50$ de la del agua que corre por el canalizo.

El efecto útil es de $0^m,25$ á $0^m,30$ y desciende á $0^m,15$ ó á $0^m,10$, cuando las paletas dejan en el canalizo mucho juego ó espacio libre.

Ruedas de costado. Las ruedas de paletas planas, encajonadas en un canalizo cilíndrico en una porcion más ó ménos considerable de la altura total, con muy poco juego en dicho canalizo, son preferibles á las anteriores. Estas ruedas reciben el agua por medio de una compuerta de fondo, y dan un efecto útil de $0^m,40$ á $0^m,55$, tanto mayor, cuanto más considerable es el trayecto vertical en que el agua ejerce su accion sobre las paletas.

Las ruedas de costado convienen especialmente para saltos de $1^m,30$ á $2^m,50$. La velocidad favorable para la marcha de estas ruedas es la misma del agua.

Ruedas superiores. Las ruedas llamadas *superiores* reciben el agua por su parte superior, ya cayendo ésta dentro de cajones distribuidos en toda su circunferencia, ó ya en el hueco de dos paletas consecutivas, en cuyo caso suele moverse la rueda dentro de un canalizo cilíndrico. El uso de los cajones es conveniente en el caso en que se dispone de un pequeño volúmen de agua y de un gran desnivel, y el de las paletas en el caso contrario. Tanto las paletas como los cajones suelen afectar distintas formas, siendo preferibles aquellas que dan lugar á ménos choques y remolinos, que absorben una parte de la fuerza viva del agua. Las ruedas de cajones bien construidas llegan á dar un efecto útil de $0^m,75$, y su uso debe preferirse al de todas las demás ruedas para saltos cuya altura se halle comprendida entre 3 y 12 metros.

Rueda de Poncelet. La rueda ideada por el general Poncelet recibe el agua por su parte inferior por medio de paletas curvas, que tienen generalmente la forma de arcos de círculo normales interiormente y tangentes por fuera á las circunferencias del tambor. Las paletas llevan en los

costados en toda la superficie del tambor un disco circular continuo destinado á retener el agua en el hueco que dejan dos consecutivas. Se mueve dicha rueda dentro de un canalizo cilíndrico de corta extension, terminado por un resalto brusco para facilitar el desagüe. La velocidad de la circunferencia exterior para el máximo efecto útil es la mitad de la que tiene el agua al salir de la compuerta, y dicho máximo se fija en $0^m,60$ del trabajo motor.

Ruedas colgadas. Se llaman ruedas *colgadas* las ruedas de paletas que se hallan sumergidas hasta cierta altura por bajo del eje en una corriente indefinida. Para que estas ruedas utilicen la mayor cantidad posible del trabajo motor, la velocidad en la circunferencia debe ser próximamente el tercio de la de la corriente. El efecto útil de esta clase de receptores, que suelen establecerse en los rios sin necesidad de derivacion alguna, es sólo de $0^m,1$.

Turbinas. Las turbinas ofrecen sobre las ruedas de eje horizontal la notable ventaja de funcionar con cargas de agua muy variables, y de poderse además adaptar á corrientes de mucho salto y poco volúmen, lo mismo que á las de mucho volúmen y poca altura. Pueden además funcionar las turbinas hallándose completamente inundadas, es decir, aunque el agua suba hasta la parte superior de la rueda, cuya circunstancia las hace muy á propósito para actuar con corrientes de régimen muy variable. Su efecto útil es por lo ménos igual al de las mejores ruedas de eje horizontal, pudiendo llegar hasta $0^m,80$ del trabajo motor. Sin embargo, las turbinas son en general aparatos más caros y delicados que las ruedas de eje horizontal, circunstancia que dificulta algo su adopcion, sobre todo en los puntos que están á mucha distancia de los centros industriales.

Los precios en reales de las turbinas del sistema Moreno que se construyen en Gerona, y hemos visto funcionar con excelente éxito, vienen indicados en el siguiente cuadro:

Caida — Metros	FUERZA EN CABALLOS					
	3	5	10	20	30	40
1 á 5	12.760 á 8.300	17.580 á 10.520	22.400 á 16.540	32.060 á 16.540	41.720 á 20.440	51.400 á 24.340
6 á 10	7.920 á 6.360	10.180 á 8.780	12.820 á 14.160	16.020 á 14.160	19.740 á 17.140	23.460 á 20.120

En estos precios no van incluidos el valor de los recipientes y tubos de conduccion, y sólo se incluye en ellos el de un metro de árbol de trasmision, siendo el resto con arreglo á contrato.

Los Sres. Aldea construyen en Valladolid turbinas para pequeños saltos, y los precios, para un desnivel de $0^m,50$ á $1^m,50$ varian de la manera siguiente:

Caballos		Reales
Para las de	2	de 16.000 á 14.800
—	5	de 19.200 á 18.000
—	10	de 22.400 á 20.900
—	20	de 28.800 á 36.000
—	30	de 35.200 á 31.600
—	40	de 41.600 á 36.400

Estos precios, que sólo deben tomarse como tipo para los cálculos, varian, sin embargo, con los sistemas de turbinas y con las condiciones de mercado.

La acreditada casa constructora "Planas y Compañía," de Gerona, construye una turbina, sistema Fontaine Girard perfeccionado, que se recomienda por sus proporcionadas dimensiones, trazado de sus alares, perfecto sistema de suspension y facilidad para la apertura y cierre de los orificios de entrada del agua, permitiendo que ésta actúe sobre todos ellos en las mejores condiciones apetecibles, sin que expe-

rimente grandes modificaciones su efecto útil, á cuyo fin se emplea un sistema de conos, á los cuales se arrolla una correa provista de placas metálicas, y cuya maniobra se verifica desde la parte superior por medio de un manubrio é indicador que constantemente señala el número de orificios que tiene abiertos la turbina. Con ella garantizan los constructores un efecto útil de 75 por 100, comprobado por numerosas experiencias hechas con el freno dinamométrico. Hemos visto en la Exposicion internacional de motores y máquinas elevatorias, celebrada en Valencia en 1880, una turbina construida por los Sres. Planas para un salto de 4 metros y una fuerza de 25 caballos. Dicha casa ha construido posteriormente dos turbinas de una fuerza de 260 caballos cada una, y otra de 200 para un salto de $26^{m},50$ destinadas al movimiento de la importante fábrica de hilados y tejidos de Sedó y Compañía, de Esparraguera.

MOTORES DE VAPOR.

Las máquinas de vapor pueden tambien emplearse como motores para la elevacion de las aguas que se destinan al riego; pero el uso de dichas máquinas está realmente muy restringido por su excesivo coste de adquisicion, instalacion y entretenimiento. Pueden ser fijas ó locomóviles: las primeras no son en general susceptibles de ser aplicadas en buenas condiciones económicas para dar movimiento á las máquinas elevatorias, puesto que, no exigiendo el servicio del riego un trabajo continuo, y no dedicándose la máquina motriz á otros usos, resultaria en general muy cara la unidad de volúmen de agua elevada. Las máquinas de vapor locomóviles podrán emplearse con ventaja en las grandes explotaciones agrícolas, siempre que, durante las intermitencias del riego, se destinen á la realizacion de otro trabajo cualquiera.

En general podrá recomendarse el empleo de los motores de vapor como auxiliares para la elevacion de las aguas en

todas aquellas circunstancias en que, teniendo la unidad de volúmen de agua elevada á cierta altura una utilidad considerable y un precio correspondiente, queden compensados los gastos que la elevacion exija con la utilidad producida, ó con el valor que la unidad de volúmen adquiera, colocada á la altura á que las máquinas la eleven. Como casos prácticos podemos citar la elevacion de aguas para el abastecimiento de poblaciones y para un objeto industrial cualquiera. En el capítulo inmediato detallaremos las ventajas de los motores de vapor asociados á las bombas centrífugas del sistema Gwynne para el caso especial de la elevacion de las aguas de riego en grandes cantidades á pequeñas alturas, á las bombas Greindl para volúmenes y alturas cualesquiera, y á las bombas ordinarias, segun los tipos de instalacion adoptados en los naranjales de Alcira y Carcagente.

Nos limitaremos por el momento á apuntar algunos datos sobre las máquinas de vapor locomóviles, que son las más generalmente empleadas para esta clase de trabajos, y á representar un tipo de máquina perfeccionada para el caso en que haya necesidad de una fuerza motriz considerable.

Las locomóviles pueden reducirse á dos tipos principales: las industriales ó de talleres y las rurales, destinadas especialmente á las explotaciones agrícolas. Las condiciones que distinguen á las locomóviles rurales son: la ligereza relativa, la sencillez de su mecanismo, la facilidad de su entretenimiento y de su aplicacion á un gran número de trabajos, y, finalmente, la economía en el consumo del combustible.

La fuerza efectiva de las locomóviles rurales no excede generalmente de cuatro á cinco caballos, y es muy superior al de éstas el trabajo mecánico que realizan las locomóviles industriales ó de talleres.

El consumo de agua y de combustible á que dan lugar las locomóviles viene indicado en la siguiente tabla, deducida de los experimentos practicados para un trabajo diario

de diez horas con las máquinas que en Inglaterra construyen los Ingenieros Clayton y Shuttlewoth.

Fuerza de la locomóvil	Agua consumida	Cok consumido
4 caballos.....	1.450 litros.....	175 kilógramos.
5 —	1.820 —	225 —
6 —	2.180 —	275 —
7 —	2.540 —	325 —
8 —	2.905 —	375 —
10 —	2.630 —	475 —

Segun M. Calla, constructor francés de locomóviles, el consumo de sus máquinas no excede de 4 kilógramos de hulla ordinaria para las de 3 á 6 caballos, y de 2 kilógramos por hora y caballo en las locomóviles de 12 á 15 caballos.

Uno de los modelos más perfectos de estas máquinas es el que fabrica la acreditada casa Ruston, Proctor y Compañía, de Lincoln. Los precios de estas máquinas en Santander ó en Cádiz, embaladas y libres de gastos y derechos, son:

DE UN CILINDRO		DE DOS CILINDROS	
Fuerza de	Reales	Fuerza de	Reales
2 ½ á 3 caballos	13.886	10 caballos	34.338
4 —	18.624	12 —	38.994
5 —	20.952	14 —	43.650
6 —	23.280	16 —	48.306
7 —	25.026	18 —	52.380
8 —	26.722	20 —	57.618
10 —	31.428	25 —	69.840
12 —	36 084	30 —	82.744

Máquina de vapor tipo Corliss reformado. La figura 71 adjunta representa uno de los tipos más perfectos

y acabados de los modernos motores de vapor, reformado y construido por los Sres. Thous y Cornet, directores de la acreditada casa constructora de Barcelona *La Maquinista terrestre* y *marítima*. Está fundada la máquina en los principios generales de la *Corliss*, y tiene, como ella, cuatro repartidores de vapor situados en las extremidades del cilindro, áun cuando colocados en la parte interior del mismo; dos de ellos están destinados á las funciones propias de la distribucion ordinaria y los dos restantes á las de la expansion.

Por la disposicion general del organismo de distribucion del fluido motor, que ha sido el objeto principal de la reforma operada por la casa catalana, se trasmite el movimiento directamente á los repartidores de una manera sumamente sencilla, puesto que una simple excéntrica y su correspondiente barra determinan la trasformacion del movimiento circular continuo del eje en circular alternativo de los manubrios de los repartidores, los cuales á su vez, y en períodos de tiempo desiguales, segun así lo exige la perfecta uniformidad de rotacion del eje motor, comunican su propio movimiento oscilatorio á los manubrios y respectivas válvulas de expansion.

No nos detendremos en describir detalladamente la máquina, y sólo diremos en resúmen que la perfecta disposicion de las diferentes partes de su organismo y su construccion esmerada, hacen de dicha máquina uno de los tipos modernos más perfectos.

El estudio técnico de las máquinas de vapor en general y de los tipos más notables puede hacerse en el excelente libro *Cours théorique et pratique des chaudières et machines à vapeur*, publicado en 1877 por M. L. Poillon.

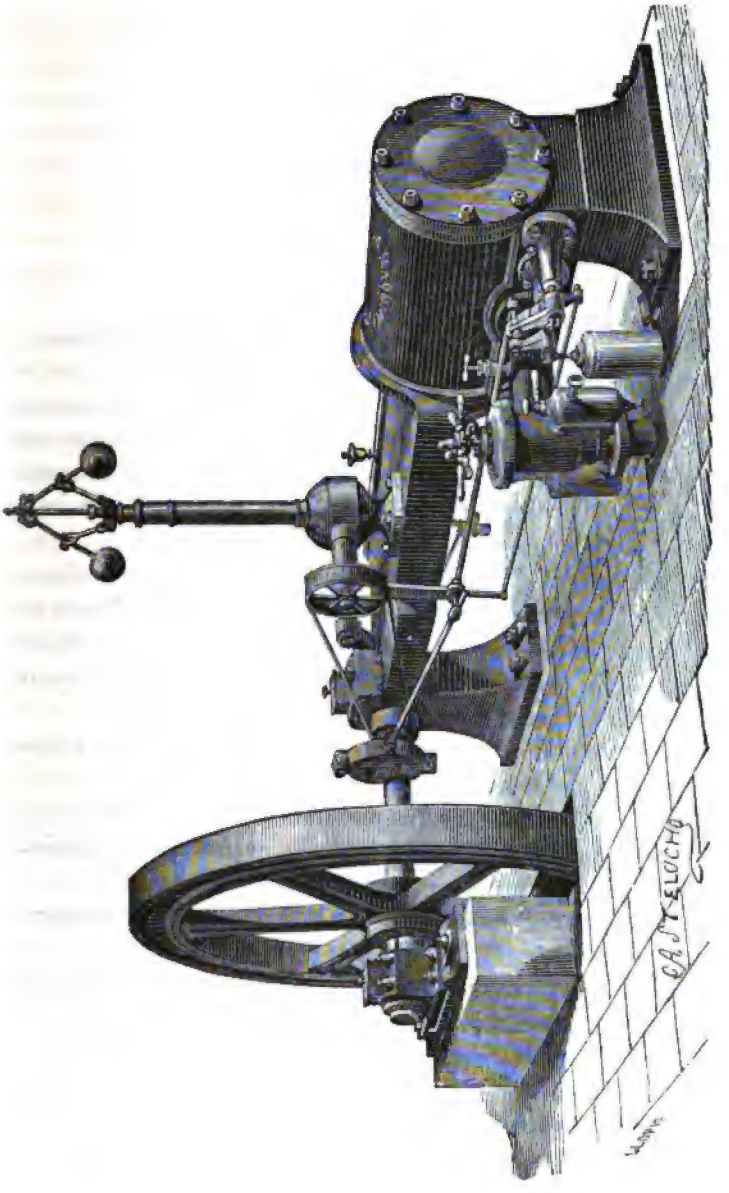


Fig. 71.—Máquina de vapor tipo Corliss reformado.

y acabados de los modernos motores de vapor, reformado y construido por los Sres. Thous y Cornet, directores de la acreditada casa constructora de Barcelona *La Maquinista terrestre* y *marítima*. Está fundada la máquina en los principios generales de la *Corliss*, y tiene, como ella, cuatro repartidores de vapor situados en las extremidades del cilindro, áun cuando colocados en la parte interior del mismo; dos de ellos están destinados á las funciones propias de la distribucion ordinaria y los dos restantes á las de la expansion.

Por la disposicion general del organismo de distribucion del fluido motor, que ha sido el objeto principal de la reforma operada por la casa catalana, se trasmite el movimiento directamente á los repartidores de una manera sumamente sencilla, puesto que una simple excéntrica y su correspondiente barra determinan la trasformacion del movimiento circular continuo del eje en circular alternativo de los manubrios de los repartidores, los cuales á su vez, y en períodos de tiempo desiguales, segun así lo exige la perfecta uniformidad de rotacion del eje motor, comunican su propio movimiento oscilatorio á los manubrios y respectivas válvulas de expansion.

No nos detendremos en describir detalladamente la máquina, y sólo diremos en resúmen que la perfecta disposicion de las diferentes partes de su organismo y su construccion esmerada, hacen de dicha máquina uno de los tipos modernos más perfectos.

El estudio técnico de las máquinas de vapor en general y de los tipos más notables puede hacerse en el excelente libro *Cours théorique et pratique des chaudières et machines à vapeur*, publicado en 1877 por M. L. Poillon.

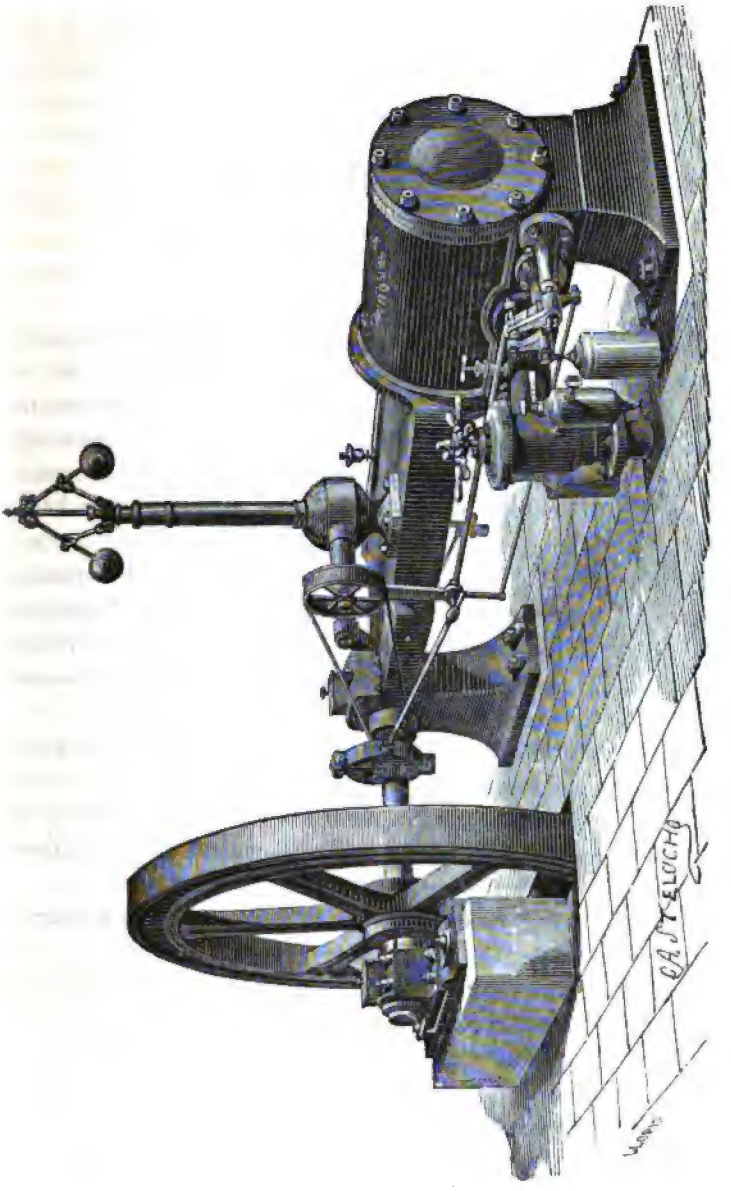


Fig. 71.—Máquina de vapor tipo Corliss reformado.

y acabados de los modernos motores de vapor, reformado y construido por los Sres. Thous y Cornet, directores de la acreditada casa constructora de Barcelona *La Maquinista terrestre y marítima*. Está fundada la máquina en los principios generales de la *Corliss*, y tiene, como ella, cuatro repartidores de vapor situados en las extremidades del cilindro, áun cuando colocados en la parte interior del mismo; dos de ellos están destinados á las funciones propias de la distribucion ordinaria y los dos restantes á las de la expansion.

Por la disposicion general del organismo de distribucion del fluido motor, que ha sido el objeto principal de la reforma operada por la casa catalana, se trasmite el movimiento directamente á los repartidores de una manera sumamente sencilla, puesto que una simple excéntrica y su correspondiente barra determinan la trasformacion del movimiento circular continuo del eje en circular alternativo de los manubrios de los repartidores, los cuales á su vez, y en períodos de tiempo desiguales, segun así lo exige la perfecta uniformidad de rotacion del eje motor, comunican su propio movimiento oscilatorio á los manubrios y respectivas válvulas de expansion.

No nos detendremos en describir detalladamente la máquina, y sólo diremos en resúmen que la perfecta disposicion de las diferentes partes de su organismo y su construccion esmerada, hacen de dicha máquina uno de los tipos modernos más perfectos.

El estudio técnico de las máquinas de vapor en general y de los tipos más notables puede hacerse en el excelente libro *Cours théorique et pratique des chaudières et machines à vapeur*, publicado en 1877 por M. L. Poillon.

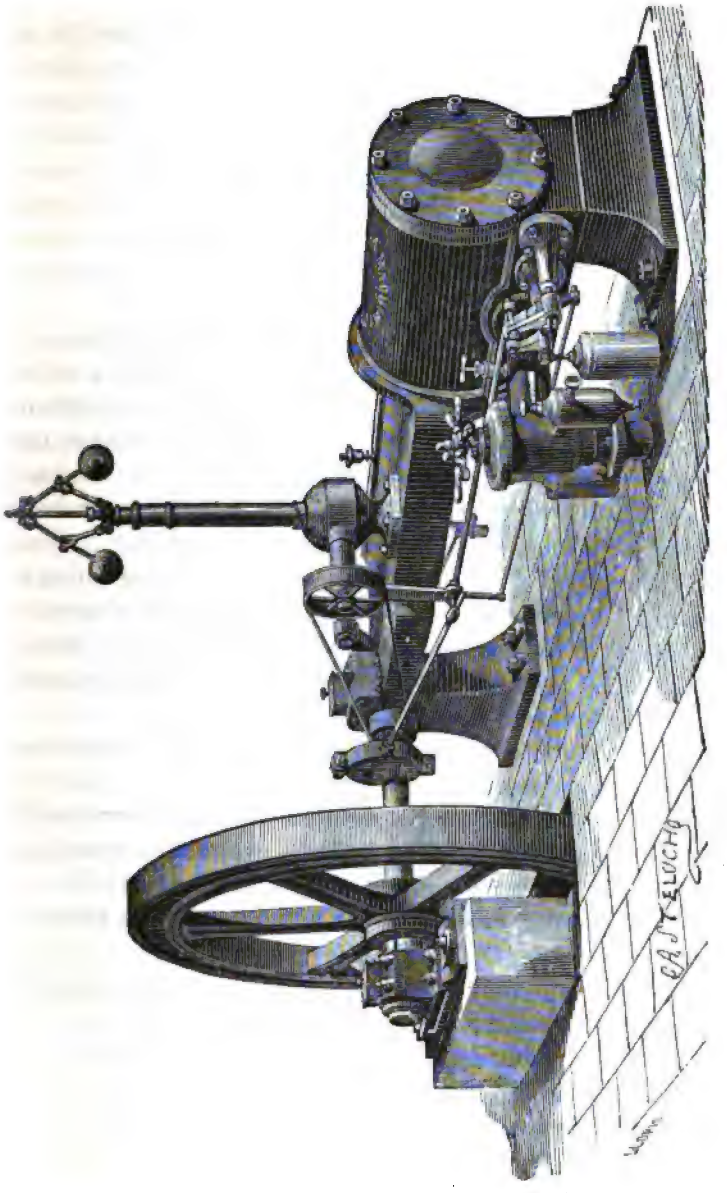


Fig. 71.—Máquina de vapor tipo Corliss reformado.

y acabados de los modernos motores de vapor, reformado y construido por los Sres. Thous y Cornet, directores de la acreditada casa constructora de Barcelona *La Maquinista terrestre* y *marítima*. Está fundada la máquina en los principios generales de la *Corliss*, y tiene, como ella, cuatro repartidores de vapor situados en las extremidades del cilindro, áun cuando colocados en la parte interior del mismo; dos de ellos están destinados á las funciones propias de la distribucion ordinaria y los dos restantes á las de la expansion.

Por la disposicion general del organismo de distribucion del fluido motor, que ha sido el objeto principal de la reforma operada por la casa catalana, se trasmite el movimiento directamente á los repartidores de una manera sumamente sencilla, puesto que una simple excéntrica y su correspondiente barra determinan la trasformacion del movimiento circular continuo del eje en circular alternativo de los manubrios de los repartidores, los cuales á su vez, y en períodos de tiempo desiguales, segun así lo exige la perfecta uniformidad de rotacion del eje motor, comunican su propio movimiento oscilatorio á los manubrios y respectivas válvulas de expansion.

No nos detendremos en describir detalladamente la máquina, y sólo diremos en resúmen que la perfecta disposicion de las diferentes partes de su organismo y su construccion esmerada, hacen de dicha máquina uno de los tipos modernos más perfectos.

El estudio técnico de las máquinas de vapor en general y de los tipos más notables puede hacerse en el excelente libro *Cours théorique et pratique des chaudières et machines à vapeur*, publicado en 1877 por M. L. Poillon.

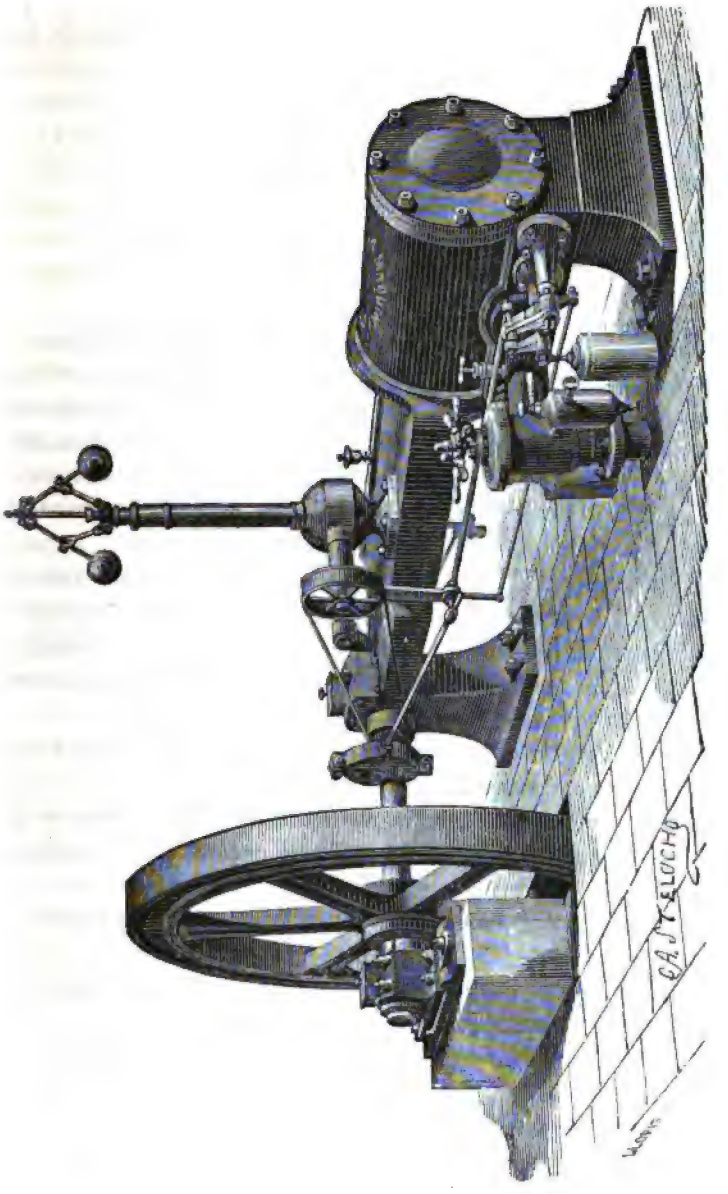


Fig. 71.—Máquina de vapor tipo Corliss reformado.

CAPÍTULO XVIII.

MÁQUINAS PARA ELEVAR EL AGUA.

Elegido el motor que ha de comunicar el movimiento á la máquina elevatoria propiamente dicha, procede á su vez la eleccion de ésta, previo el exámen de las circunstancias especiales del aprovechamiento, debiendo figurar para este exámen, en primer término, el volúmen de agua necesario en la unidad de tiempo, la altura á que este volúmen ha de ser elevado y las condiciones del depósito de orígen.

El efecto útil de los diferentes aparatos de elevacion de aguas variará necesariamente con el desnivel existente entre el punto de orígen y el de llegada de las aguas elevadas: vamos, por lo tanto, á reseñar ligeramente dichos aparatos, apuntando tan sólo los datos prácticos de mayor interés, con objeto de que el propietario pueda elegir los más convenientes para cada caso.

Cubos. El aparato más sencillo para la elevacion de aguas es el cubo ó una vasija análoga cualquiera, manejada directamente por un obrero. Por este medio se obtiene el máximo efecto útil cuando la altura á que hay que elevar el agua no excede de $0^m,60$ ó $0^m,80$.

No es fácil precisar el trabajo que puede realizar un peon manejando este aparato elevatorio, puesto que ejercen una gran influencia en el resultado su fuerza y su habilidad, las cuales pueden hacer variar dicho efecto entre límites muy diversos. Segun los experimentos de M. Perronet, elevando el agua á mano por medio de los cubos ordinarios, puede obtenerse un máximo efecto útil de 46.000 kilográmetros en

las ocho horas de trabajo diario de un obrero; de modo que, reduciendo dicho trabajo á volúmen de agua elevada á la altura de un metro, corresponderá á 46 metros cúbicos. Para formar juicio de la influencia que en el efecto útil ejerce la altura á que el agua se eleva, basta considerar, segun el mismo Ingeniero, que á $1^m,80$ de altura eleva un peon 34 litros por minuto y á un metro un volúmen doble.

Si hubiese necesidad de hacer llegar el agua á mayor altura, sería preciso, empleando cubos movidos á mano, establecer depósitos intermedios y disponer un servicio de elevacion en cada uno de ellos.

Este procedimiento da lugar á considerables pérdidas de trabajo por los choques que se producen á la entrada del agua en la vasija, y por la velocidad inútil que posee el líquido al ser lanzado al depósito ó á la canal que lo recibe.

Para elevar el agua á una altura ya considerable, y en particular para agotar la de los pozos, se emplea con frecuencia un cubo atado á la extremidad de una cuerda de longitud adecuada, ó mejor dos cubos, uno en cada extremo, pasando la cuerda por la garganta de una polea, ó arrollándose al cilindro de un torno. Hemos visto en el capítulo anterior que cuando un peon eleva una vasija por medio de una cuerda y una polea, produce por dia de trabajo de seis horas un efecto útil de 77.760 kilográmetros, y de 158.400 en ocho horas actuando sobre el manubrio de un torno: de estas cifras se deduce desde luégo la ventaja que al primero lleva este segundo procedimiento.

Cigoñal. En vez del torno ó de la polea se suele emplear la palanca para mover el cubo, sobre todo cuando se trata de elevar una pequeña cantidad de agua desde una profundidad máxima de 3 á 4 metros durante dos ó tres horas de trabajo. El aparato, que en nuestras provincias recibe el nombre de *cigueña* ó *cigoñal,* consiste (fig. 72) en una pértiga ó vara larga, á cuya extremidad inferior va atado el cubo, articulándose la superior con el extremo de un balancin de madera de brazos desiguales. El brazo más

corto de dicho balancin equilibra próximamente la carga del otro, estando el cubo vacío, por medio de un contrapeso colocado en el extremo de dicho brazo libre, al cual se aplica la potencia, directamente ó por medio de un tirante (1). La ventaja de este sencillo aparato consiste en que el peon no tiene que levantar el peso del cubo, y en que ejerce un esfuerzo de traccion que favorece con el peso de su cuerpo. Empleando este procedimiento puede un peon hábil elevar en una hora 22 metros cúbicos de agua á un metro de altura, aunque por término medio no se elevan más que 15 metros cúbicos en el mismo tiempo.

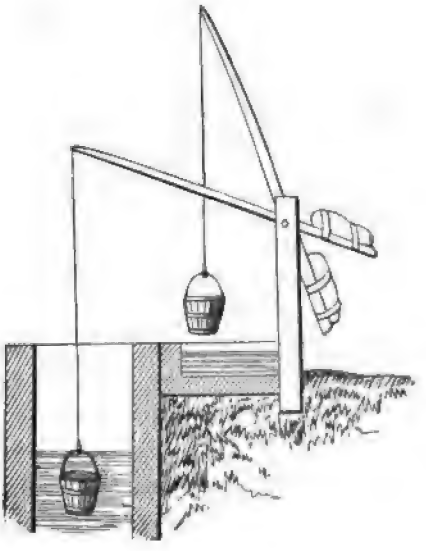


Fig. 72.—Cigoñal.

Achicador ordinario. El *achicador ordinario* está constituido por una cuchara de $0^m,40$ de longitud por $0^m,22$ de ancho, y de una capacidad de 4 ó 5 litros. Con el auxilio de este instrumento puede un peon proyectar el agua sobre un círculo de 7 á 8 metros de radio. El achicador ordinario, provisto de un pequeño mango para su más cómodo manejo, puede emplearse para el riego de pequeñas superficies en una propiedad atravesada por una corriente de agua susceptible

(1) Tambien suele disponerse el cigoñal de modo que el contrapeso equilibre al cubo estando lleno, en cuyo caso la potencia se aplica á la pértiga en su período de descenso. El cubo suele estar formado en algunos puntos de España por un zaque ó bolsa de cuero que lleva en la parte superior un aro de hierro.

de ser represada cuando las circunstancias lo exijan, siempre que la altura de las márgenes ó la del terreno regable no pase de $0^m,30$ á $0^m,40$.

Achicador holandés. El achicador holandés está formado por una caja oblonga de madera en la cual faltan la tabla superior y la vertical delantera, y ofrece una forma análoga, aunque más prolongada, á la de una gran pala ó cogedor de basura que tuviera una válvula plana en su fondo.

Por su parte anterior se halla sostenida en el borde del canal ó acequia (fig. 73) por medio de un pasador ó eje sobre el cual gira en su movimiento de ascenso y descenso; por su parte posterior está sostenido por una varilla que se articula con el extremo de una palanca, á cuya extremidad opuesta se aplica la potencia por medio de uno ó varios tirantes. Con el achicador holandés, que con pequeñas modificaciones hemos visto usado con el nombre de *tahona* en las riberas del Júcar, puede un obrero elevar á una altura media de $0^m,35$ un volúmen de agua de 1.200 litros por minuto, siendo la capacidad útil del aparato de un hectólitro.

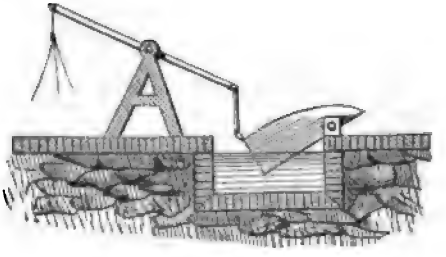


Fig. 73.—Achicador holandés.

Se emplean estos aparatos en mayor escala haciéndolos maniobrar por medio de caballos enganchados á un malacate por medio de una rueda hidráulica, ó con el auxilio de una máquina de vapor. Los hay que elevan más de un metro cúbico de una sola vez y más de 20 metros cúbicos por minuto á una altura de 6 metros. Se cita en el condado de Lincoln, en Inglaterra, una superficie de 80.000 hectáreas que se mantiene en un estado conveniente de saneamiento por medio de grandes aparatos de esta clase, movidos por 70 máquinas de vapor.

Ruedas de paletas. Hemos visto en el capítulo anterior que una rueda de paletas, moviéndose en un canalizo cilíndrico, sirve ordinariamente para comunicar un movimiento de rotacion á un árbol horizontal, obteniéndose de este modo un trabajo mecánico aplicable á un fin industrial determinado. Es evidente, por lo tanto, que si se destina un motor cualquiera á hacer girar el árbol horizontal *en sentido inverso*, la rueda de paletas podrá servir para tomar el agua de un depósito inferior y hacerla subir por el canalizo cilíndrico hasta verter á una canal situada á una altura próximamente igual á la longitud del radio de la rueda. Para facilitar la salida del líquido suelen disponerse las paletas planas ligeramente inclinadas hacia abajo, en lugar de hallarse implantadas en la rueda en el sentido de los planos diametrales.

Las ruedas de paletas planas se emplean con ventaja para elevar el agua á una altura que no exceda de 3 á 4 metros. El máximo efecto útil se calcula en $0^m,70$ ó $0^m,75$ del trabajo motor que reciben; correspondiendo á dicho máximo una velocidad en la circunferencia exterior de la rueda que no debe exceder nunca de un metro por 1″.

Ruedas de cajones ó de cangilones. Si se supone que una rueda hidráulica lleva distribuida en su circunferencia una serie de cajones, cangilones ó recipientes cualesquiera, se concibe fácilmente que podrá tomar el agua en su parte inferior con el auxilio de dichos recipientes, vertiéndose aquélla á una canal convenientemente dispuesta, cuando lleguen éstos al punto de su carrera en que tenga lugar el derrame. Estas ruedas son de uso frecuente en los riegos: se las conoce en la vega del Tajo con el nombre de *azudas*, y con el de *ruedas de noria* en Navarra y Andalucía. Unas veces son automóviles, y con mayor frecuencia reciben el movimiento de otras ruedas colgadas que giran sobre el mismo eje ó sobre otro paralelo.

En Lodosa (Navarra) el regadío llamado de norias, que comprende una superficie de 500 hectáreas, destinadas prin-

cipalmente á viñedo y olivar, se halla abastecido por el agua que dan dos ruedas de la clase indicada, de 10 metros de diámetro, situadas dentro de una casa de sillería y mampostería construida en el mismo cáuce del Ebro. En la citada jurisdiccion de Lodosa existe además otra rueda análoga movida tambien por las aguas del rio, destinada al riego de otras 100 hectáreas.

La huerta de Palma del Rio, de una superficie aproximada de 200 hectáreas, situada á derecha é izquierda del rio Genil, plantada casi en su totalidad de naranjos que se riegan una vez por semana, no cuenta con más aguas que las que desde tiempo inmemorial se elevan del mismo rio por medio de 20 grandes ruedas de paletas y arcaduces. Como la corriente normal del rio no bastaria para poner dichas ruedas en movimiento, se establecen presas de pilotaje y escollera, con las cuales se obtiene un salto generalmente de un metro de altura. En el canalizo abierto en uno de los costados de la presa se instala la rueda de arcaduces, y en algunos casos se colocan dos ó tres á lo largo del mismo canalizo.

No creemos fuera de propósito dar algunos detalles de una de estas ruedas, cuya descripcion y dibujo pueden verse en la obra *Irrigations du Midi de l'Espagne* de M. Aymard.

La rueda descrita por este distinguido Ingeniero se halla instalada en las inmediaciones de la poblacion citada. Tiene $9^m,10$ de diámetro: todos sus brazos, de $\frac{0^m,12}{0,12}$ de escuadría, están situados en un mismo plano vertical y se hallan sujetos á la circunferencia exterior por tres dobles coronas de $\frac{0^m,10}{0,13}$. La parte inferior de los brazos de la rueda se halla reforzada por dos grandes discos macizos de $0^m,04$ de espesor, y cuyas dimensiones corresponden á las del cuadrado inscrito en las coronas ó llantas de menor radio. El árbol de la rueda es de madera de roble, y tiene $0^m,40$ de diámetro por $2^m,40$ de longitud, y del mismo material están formados los cuatro brazos de la rueda que penetran en dicho árbol: los brazos restantes no penetran y son de pino del país.

En el extremo de cada uno de los brazos, y fuera de las coronas, va implantada una paleta de $1^m,20$ de longitud por $0^m,40$ de ancho, la cual tiene cuatro orificios circulares de 7 á 8 centímetros de diámetro, dispuestos por pares á ambos lados del brazo que la sostiene. Por los citados agujeros pasan de una á otra paleta unos aros flexibles que sirven dos á dos de sostén á una serie de arcaduces de barro, los cuales vierten el agua á una canal de madera colocada en la parte superior de la rueda, análoga á la artesilla de las norias ordinarias.

La rueda indicada eleva 17 litros de agua por segundo á una altura de $6^m,80$. Los 96 arcaduces que constituyen su dotacion se vacian en los 27″ que comprende la vuelta completa del aparato; de modo que el gasto correspondiente á una vuelta es de $27 \times 17 = 259$ litros, y la capacidad útil de cada cangilon de $\frac{450}{96} = 4,78$ litros.

El establecimiento de estos aparatos y su sistema de construccion datan de orígen antiquísimo, y el número de cangilones que cada rueda debe llevar se conserva por tradicion, de acuerdo con los derechos que las respectivas zonas tienen al uso de las aguas del rio. Las ruedas que por este motivo sólo pueden llevar una fila de arcaduces, marchan desequilibradas, vierten parte de agua por el costado y tienen una duracion menor que las que llevan dos series. Estas últimas, estando bien equilibradas, duran de diez y ocho á veinte años y exigen pocos gastos de conservacion. Cuestan de primera instalacion de 6 á 7.000 rs.; pero esta cifra es sólo una fraccion del coste total, cuya parte más importante es la correspondiente á la construccion y conservacion de la presa, expuesta á frecuentes averías por las crecidas extraordinarias del rio. La rueda hidráulica se halla resguardada de los efectos de las avenidas por una compuerta situada á la entrada del canalizo.

Todos los gastos de construccion de la noria y de reconstruccion de las presas corren de cuenta de los propietarios de la zona respectiva, y se reparten proporcionalmente al

número de horas que cada uno de ellos tiene derecho al disfrute del agua.

En el extranjero hemos visto funcionar muchas de estas ruedas en el rio Sorgue y en los canales alimentados por las aguas de la fuente de Vaucluse.

Tímpano. Otra de las ruedas empleadas para elevar las aguas es la llamada *tímpano,* que consiste en un tambor hueco, móvil alrededor de su eje, en cuyo interior existen varios tabiques dispuestos en espiral, que parten del centro

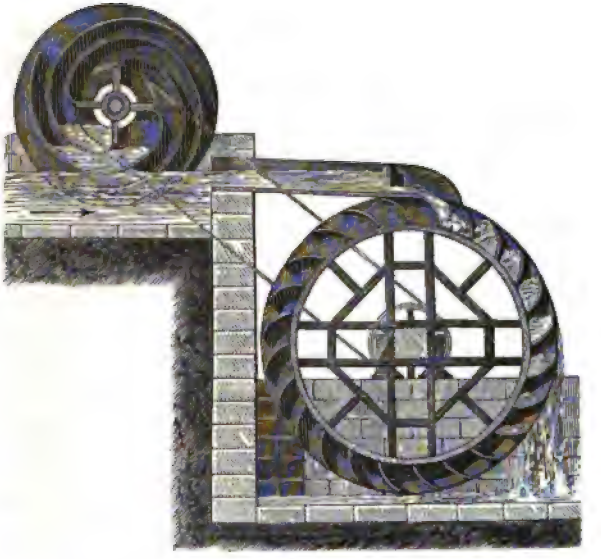


Fig. 74.—Tímpano movido por una rueda de cajones.

y se extienden hasta la circunferencia. El tímpano se sumerge por su parte inferior en el agua que ha de elevarse, la cual se introduce entre las paredes al mismo nivel que el que existe en el exterior, miéntras no se encuentra aislada la masa líquida contenida en la parte interna. Desde el momento en que el tímpano recibe un movimiento de rotacion en el sentido conveniente, los extremos de los tabiques dispuestos en espiral van saliendo del agua unos des-

pues de otros, y, por lo tanto, las masas de agua contenidas en cada una de las divisiones que determinan, se encuentran sucesivamente separadas del líquido del depósito ó del canal. Aisladas de esta suerte las porciones líquidas, tienden constantemente á situarse en el punto más bajo de la division que las contiene, y, á medida que el tímpano gira, recorre el agua todo el desarrollo del tabique, aproximándose cada vez más al nivel de la canal dispuesta alrededor del eje, y, vertiéndose al fin por esta canal, salen al exterior por un orificio abierto en el centro en uno de los costados del tímpano.

Al tímpano de Lafaye, que es el descrito, se le suele dar un diámetro de 2 á 4 metros. Su efecto útil es de $0^{m},75$ á $0^{m},80$ del trabajo motor.

La figura 74 adjunta representa un tímpano movido por una rueda de cajones.

Rosario hidráulico. *El rosario hidráulico ó bomba rosario* de uso más frecuente para la elevacion de aguas está constituido por un tubo sumergido por uno de sus extremos en el agua: por dentro de este tubo asciende una de las ramas de una cadena sin fin, cuyos eslabones llevan en su punto medio discos circulares ó cuadrados guarnecidos por una corona de cuero. Guian la cadena en su movimiento dos ruedecitas de eje horizontal colocadas respectivamente en las dos extremidades del tubo de elevacion, formadas por una serie de radios terminados en horquilla, que cogen los extremos de un mismo eslabon; la potencia se aplica á la rueda superior por medio de un manubrio.

El rosario se llama *vertical* ó *inclinado*, segun la posicion que guarda el tubo, y éste queda reducido á una simple canal descubierta, cuando forma con el horizonte un ángulo menor de 90 grados.

El primer tipo se emplea para elevar el agua á una altura que no exceda de 6 metros, y su efecto útil, estando bien construido, suele ser los dos tercios del trabajo motor aplicado. Como las rodajas de cuero que guarnecen los dis-

cos siempre huelgan algo en el interior del tubo de ascension, hay necesidad de hacer girar la rueda superior con una velocidad de $1^m,5$ á 2 metros por segundo, á fin de que se pierda por el juego la menor cantidad posible de agua.

Se construyen en España y en el extranjero diferentes modelos de rosario hidráulico, para cuya descripcion pueden consultarse los libros especiales. La noria-rosario de hierro que expone en sus almacenes de Madrid el industrial señor del Rio difiere poco del modelo comun de rosario vertical. El precio de este aparato es de 500 rs. para una altura de 4 metros, debiéndose añadir 100 rs. más por cada metro que exceda de este tipo.

El industrial Sr. Ubanell construye en Figueras (Gerona) un rosario hidráulico constituido por una cadena de hierro que, á intervalos de $1^m,5$, lleva unos hemisferios de caoutchuc de un diámetro igual al del tubo de elevacion. Hemos visto funcionar uno de estos aparatos, y aforado el esfuerzo máximo ejercido por un obrero para un trabajo que exigiria frecuentes descansos, encontramos que era de 12,5 kilográmetros, representado por un volúmen de agua de 2,5 litros de agua elevada por segundo de tiempo á una altura de 5 metros. El precio del aparato, comprendiendo el volante y manivela, la rueda, el recipiente y un palmo ($0^m,195$) de tubo de aspiracion con su porcion correspondiente de cadena, es de 640 rs. A este precio hay que añadir 10 reales más por cada palmo de tubo y doble longitud de cadena.

Tornillo de Arquímedes. El tornillo de Arquímedes consiste en un tubo arrollado en hélice sobre un cilindro inclinado que gira alrededor de su eje. La extremidad inferior del tubo alternativamente inmergida en el agua y fuera de ella en cada una de las revoluciones del cilindro, aisla en cada inmersion una porcion de agua que, recorriendo todo el desarrollo de la hélice, va á salir por la extremidad superior. En los tornillos que ordinariamente se emplean para los agotamientos se suelen disponer tres hélices equidistantes sobre el cilindro que les sirve de apoyo ó núcleo, y el

diámetro exterior de las hélices suele ser tres veces mayor que el diámetro del núcleo. Varía dicho diámetro exterior entre $0^m,325$ y $0^m,65$. La longitud del tornillo varía entre 12 y 18 veces el diámetro exterior de las hélices, segun sea más ó ménos grande dicho diámetro. Los constructores suelen dar una inclinacion de 60° á la tangente á la hélice trazada sobre el cilindro de apoyo respecto de la generatriz de dicho cilindro. La inclinacion del cilindro con respecto al horizonte puede variar desde 30 á 45°, funcionando el tornillo en las mejores condiciones cuando el nivel del agua sube algo por encima del centro de la base del cilindro, sin llegar á sumergir enteramente dicha base.

En Holanda y en Alemania se reemplaza frecuentemente la envolvente exterior de las hélices por una canal fija semicilíndrica, con lo cual se evita que todo el peso del agua elevada gravite sobre los soportes. En este caso hay necesidad de hacer marchar el aparato con mayor velocidad á fin de evitar los escapes que se producen por el juego que queda entre las hélices y la canal.

Norias. Las norias, de uso tan frecuente en nuestro país, son aparatos de elevacion de agua, cuyo sencillo mecanismo y utilísimos servicios explican su adopcion en todas las comarcas agrícolas. Vamos á hacer algunas indicaciones sobre los tipos de norias más conocidos en España, empezando por la noria comun, llamada tambien noria *árabe*, aunque debiera llamarse con más propiedad *noria romana*.

Noria árabe. Distinguiremos en la noria comunmente llamada árabe cuatro partes esenciales: el malacate, las ruedas de trasmision del movimiento, el rosario ó aparato que lleva en suspension los arcaduces, y la artesilla de recepcion del agua elevada.

El malacate queda reducido en los modelos más toscos á una simple palanca, en uno de cuyos extremos se engancha la caballería destinada á comunicar un movimiento de rotacion á un árbol vertical, al que va sujeta la palanca por el otro extremo. Este árbol se sostiene dentro de una argolla

fija á una vigueta horizontal, colocada en la parte superior del aparato apoyando sus extremos sobre dos pilares que se levantan de dos puntos diametralmente opuestos del área de la pista. El árbol motor sirve de eje á una rueda de husillos llamada *rueda de aire*, situada por debajo de la vigueta, y destinada á comunicar el movimiento á la rueda inferior ó *rueda de agua*. Esta se halla inserta en un eje horizontal que gira sobre dos gorrones colocados en el brocal del pozo, y está constituida por dos coronas unidas entre sí por medio de unos palillos de madera dura y resistente, llamados *aguadores*, los cuales engranan con los husillos de la rueda de aire, ó dentro del intervalo comprendido entre las dos coronas, dando lugar á lo que se llama un engranaje de linterna, ó por un costado de la rueda, en cuyo caso los aguadores se prolongan un poco, presentando una pequeña porcion saliente.

Apoya sobre la rueda de agua, ó sobre otra paralela inserta en el mismo eje, una maroma de esparto ó dos paralelas, constituyendo otras tantas cuerdas sin fin que llegan hasta el fondo del pozo, y sirven de sostén á los arcaduces de barro inmediatamente destinados á la elevacion del agua. Con el fin de evitar que la fuerza del aire arroje á los costados las aguas que vierten á la artesilla los arcaduces que han llegado á la parte superior de su carrera, cierra el espacio limitado por una de las dos coronas de la rueda de agua un disco de tablas, al que se da el nombre de *guardavientos*. La figura 75 adjunta representa un tipo de noria árabe tomada del natural en las inmediaciones del Escorial.

La noria árabe, á pesar de los inconvenientes que ofrece por las pérdidas de trabajo, debidas, por una parte, á los rozamientos de todas clases, y en particular á los que resultan de la imperfeccion y desgaste de los engranajes, y por otra á la circunstancia de elevar el agua á mayor altura que la del depósito donde se recibe, está todavía llamada á prestar grandes servicios en nuestro país por su sencillo mecanismo y por la facilidad de atender á sus reparaciones, la

mayor parte de las cuales pueden ejecutarse por el mismo colono, sin necesidad de que recurra al auxilio ajeno. En los llanos de Daimiel, en la Mancha, en los cuales el agua de

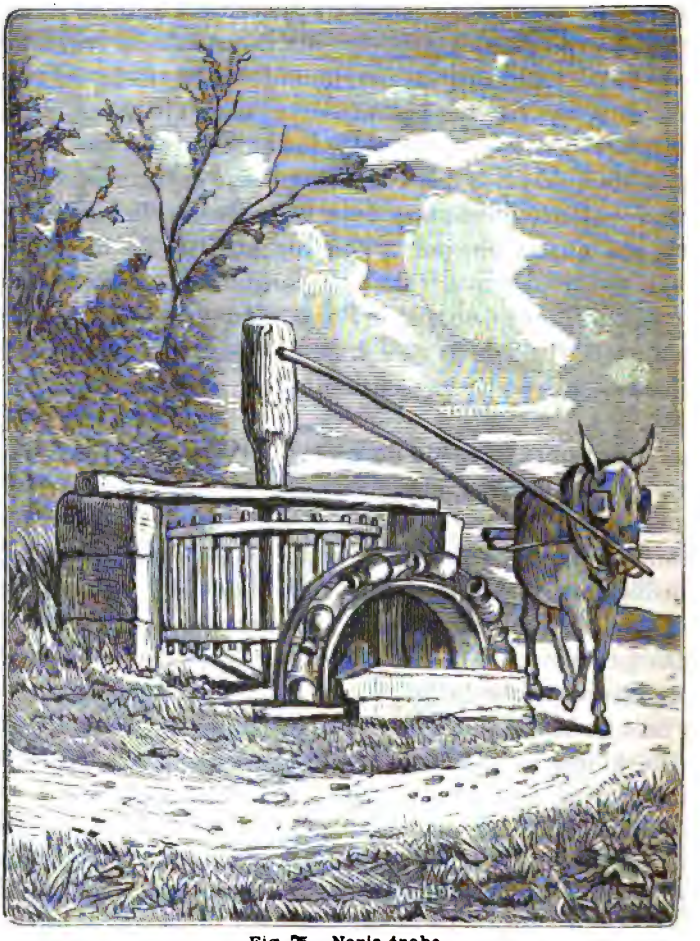


Fig. 75.—Noria árabe.

los pozos es poco profunda, y éstos se hallan extendidos por la zona cultivada en número considerabilísimo, las norias afectan un cierto carácter de máquinas locomóviles, puesto que, no igualando el número de estos aparatos al de los pozos,

los mismos cultivadores los desmontan y trasladan segun las necesidades del cultivo, á cuya operacion llaman en el país *poner el arte*. Y se obtiene en dicha localidad el agua con tanta economía, que difícilmente podrá ser sustituido este grosero procedimiento por otro más perfeccionado, á ménos que el adelanto general de la industria permita disponer de los medios de atender con prontitud y economía á las reparaciones de otros aparatos más complicados ó más perfectos. En Daimiel suelen gastarse seis duros en abrir el pozo (3 ó 4 varas), 20 ó 25 duros en el arte y otros tantos en la caballería, de modo que con 50 ó 60 duros se tiene el aparato funcionando.

Segun M. Barral, con las norias comunes, empleando una caballería mayor ordinaria, se pueden obtener de 20 á 25 metros cúbicos de agua por hora (6,25 litros, término medio por 1″) á la altura de 5 metros, cuyos datos suponen un efecto medio útil por 1″ de 31,3 kilográmetros; y admitiendo que éste sea 0,66 del trabajo motor, corresponde á la caballería un trabajo por 1″ de 41,9 kilográmetros. Este resultado puede resumirse por medio de la fórmula $N = Q \times \frac{H+r}{120}$, siendo N el número de caballerías, H la profundidad del pozo, r el desnivel entre la artesilla y el punto de derrame de los cangilones y Q el gasto por hora en metros cúbicos.

En una noria que funciona en la huerta de Lorca anotó M. Molle los siguientes datos:

Radio del malacate.....	3 metros.
Diámetro de la rueda de agua.....	2m,40.
Idem de la rueda de aire.....	1m,90.
Número de arcaduces.....	90.
Capacidad de cada uno.....	2,85 litros.
Profundidad del pozo.....	32,50 metros.
Capacidad del estanque.....	197,5 metros cúbicos.

Dos mulas trabajando ocho horas cada una, ó sea diez y seis horas entre las dos al dia, llenan el estanque en cuarenta

horas; de consiguiente el volúmen de agua elevado por 1″ es de $\frac{197,5}{40^h \times 60' \times 60''} = 1,37$ litros. Siendo de 32,5 la altura á que el agua se eleva, á contar desde el nivel que tiene en el pozo hasta el en que se vierte, el trabajo producido será, por lo tanto, de $32,5 \times 1^{kg},37 = 44$ kilográmetros.

En el campo de Cartagena, donde son tambien muy frecuentes las norias árabes, el coste de establecimiento de una noria de esta clase que eleve el agua de una profundidad media de 10 metros, se calcula en unos 12.000 rs. distribuidos en las partidas siguientes:

	Reales
Pozo y galerías de alimentacion	5.000
Terraplen	1.600
Cañerías	1.000
Balsa de unos 200m³	3.000
Arte y su colocacion	1.400
TOTAL	12.000

De los datos que nos ha facilitado nuestro amigo y compañero D. Ricardo Codorniu, relativos á una noria del campo de Cartagena que eleva el agua á $8^m,36$ de altura y llena un estanque de 343^{m^3} de capacidad en treinta y ocho horas, teniendo una caballería constantemente enganchada al malacate, deducimos:

1.° Que supuestos un peon y dos caballerías, destinados al servicio de la noria, cuesta 100 rs. el llenar el estanque, y sale por lo tanto el agua á 0,29 rs. el metro cúbico.

2.° Que cada dos dias y medio se pueden regar con las aguas de la noria cuatro tahullas, ó sea 0,4472 hectáreas, con una capa de agua de $0^m,077$ de altura.

3.° Que la cantidad de agua por segundo que dicha noria suministra es de 250 litros, bastante escasa por cierto; y que el efecto útil producido por dicho aparato es únicamente de $2,50 \times 8,36 = 20,9$ kilográmetros.

Noria Pfeiffer. La casa Pfeiffer de Barcelona cons-

truye unas norias de hierro perfeccionadas, cuyo mecanismo viene representado en la figura 76 adjunta.

El tambor tiene unos rebordes laterales con el objeto de

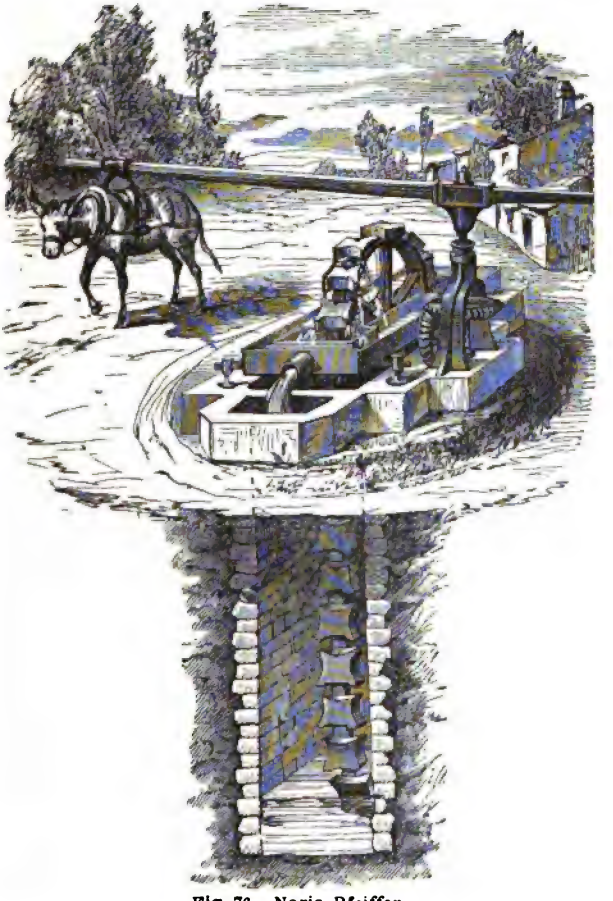


Fig. 76.—Noria Pfeiffer.

evitar que se escape la cadena por los costados, y su superficie presenta como unas estrías en el sentido de las generatrices del cilindro, en cuyos huecos se adaptan perfectamente las partes salientes de dicha cadena. Esta se halla constituida por una serie de fuertes eslabones planos de

hierro dulce, unidos entre sí formando visagra, ó directamente por medio de un pasador, ó por anillos cuadrados intermedios. Los cangilones son de hierro fundido, y vierten el agua por los dos lados en vez de hacerlo por el frente, por cuya razon se llaman de *doble vertedera*.

Hemos estudiado el aparato en cuestion aplicado al riego de una pequeña parcela que nuestra familia posee en las afueras de Barcelona. La noria Pfeiffer, en dicha parcela establecida, da un litro de agua por segundo, elevada á 35 metros de altura, y su malacate está dispuesto para una sola caballería. Hecho el cálculo del coste del agua, resulta ser de 0,65 rs. por metro cúbico, no incluyendo en dicho coste el interés y amortizacion del capital empleado en la compra é instalacion del aparato ni el gasto anual de entretenimiento y reparacion de averías. El servicio de dicha noria, sujeto á pocas intermitencias á consecuencia de las apremiantes necesidades de un cultivo intensísimo, exige gastos de reparacion que no suelen bajar, por término medio, de 800 reales al año. El gran peso de la cadena y la continuidad del servicio dan lugar á accidentes de reparacion muy costosa, si no se ejerce sobre el aparato una exquisita vigilancia. Hallándose las visagras sometidas á un gran esfuerzo de traccion, tienden en consecuencia á deformarse; en cuyo caso, adaptándose la cadena sobre el tambor en direccion oblícua al eje, puede salvar aquélla el reborde lateral de dicho tambor y caer sobre el eje, rompiendo la artesilla, ó bien, soltándose algun eslabon, destrozarse cadena y cangilones en su precipitada caida al fondo del pozo.

Los defectos é inconvenientes que acabamos de indicar, más bien que inherentes al sistema, son debidos á que el citado aparato no debe ser aplicado á los casos en que convenga elevar el agua desde profundidades tan considerables. Por lo demás, ingénuamente confesamos que la noria Pfeiffer es uno de los sistemas más perfectos, y que, por su sencillo y esmerado mecanismo, puede prestar excelentes servicios dentro de las condiciones de una bien entendida

economía, aplicándose á la elevacion del agua desde profundidades que no pasen de 20 ó 25 metros. Así debe haberlo reconocido uno de los más importantes constructores de Lóndres, Mr. Warner, cuyo modelo de noria, presentado á la Exposicion de Viena, es una verdadera copia de la noria que la casa Pfeiffer construye en Barcelona.

Construye tambien la casa Pfeiffer un sistema de norias dobles para dos caballerías, colocando en este caso el movimiento en el centro; y sale tambien de sus talleres otro tipo, cuyo tambor está dispuesto para recibir el aparato de suspension ordinario, formado de cuerdas de esparto y arcaduces de barro.

El adjunto estado resume los datos más esenciales de las norias de doble vertedera del sistema Pfeiffer.

Profundidad del pozo — *Metros*	Volúmen de agua elevada por minuto — *Litros*	Precios á pié de fábrica — *Reales*	Peso — *Kilógramos*
4	585	3.700	940
6	417	4.000	977
8	312	4.200	996
10	250	4.400	1.000
12	208	4.600	1.010
14	178	4.800	1.024
16	156	5.000	1.044
18	139	5.200	1.064
20	125	5.400	1.084
25	100	5.800	1.132
30	83	6.200	1.180
35	72	6.600	1.226
40	63	7.000	1.276

Las norias dobles proporcionan doble volúmen de agua elevada, empleando dos caballerías, y cuestan tambien doble que las sencillas, ménos 1.000 rs., por no necesitar más que un solo malacate.

El modelo destinado á recibir cuerdas de esparto y cangilones de barro cuesta 1.800 rs., sin incluir el rosario, cuya longitud se arregla á la profundidad del pozo.

Noria del Rio. El Sr. del Rio construye en Madrid unas norias de hierro fundido con cadena del mismo metal forjado y cangilones de zinc de simple vertedera. Sus condiciones y precios vienen indicados en el siguiente cuadro:

Altura á que eleva el agua — *Metros*	Volúmen por minuto — *Litros*	Precio — *Reales*	Peso — *Kilógramos*
3	800	3.500	840
4	600	3.680	880
5	480	3.760	885
6	400	3.940	900
8	300	4.100	920
10	240	4.260	940
12	200	4.520	970
14	170	4.680	1.000
16	150	4.840	1.010
18	134	5.000	1.040
20	120	5.160	1.060
25	96	5.560	1 100
30	80	5.960	1.150
35	67	6.360	1.200
40	60	6.760	1.300

Noria Cases. El acreditado establecimiento de construccion de máquinas *La Fundicion primitiva Valenciana,* construye otro tipo de norias, cuyos detalles más insignificantes perfeccionó su inventor el Sr. Cases, fundador de la casa constructora, obteniendo un efecto útil considerable. Disminuyó notablemente los rozamientos en general, y sobre todo el del eje ó árbol, el cual, en vez de girar, como de ordinario, en una quicionera, resbala sobre dos rodillos. Otra particularidad de esta noria es la disposicion del cangilon, cuyas paredes principales tienen en su parte superior una tira de hierro que las une, dividiendo en dos la boca del cangilon, que vierte á uno y otro lado de dicha tira. Tiene ésta además la ventaja de preservar el cangilon de la cadena que descansa sobre la tira de hierro á que va fijada, evitándose por este medio los inconvenientes que resultan del desgaste de aquella.

La esmerada construccion de esta noria, el precio poco elevado y el gran efecto útil obtenido (de 50 á 55 litros por 1″ á la altura de 1 metro), recomiendan el aparato de elevacion del Sr. Cases.

Bombas. No permitiéndonos la índole especial de nuestro trabajo hacer un estudio detenido bajo el punto de vista físico y mecánico de los aparatos conocidos con la denominacion comun de *bombas*, nos limitaremos á consignar algunas consideraciones prácticas sobre varios tipos, atendiendo á nuestro especial punto de vista de sus aplicaciones al riego.

Las bombas destinadas á la elevacion de las aguas pueden reducirse á los cuatro tipos principales siguientes: 1.° Bombas de piston de movimiento rectilíneo alternativo; 2.° Bombas centrífugas; 3.° Bombas rotatorias de uno ó de dos ejes; y 4.° Pulsadores y pulsómetros.

Bombas de piston de movimiento rectilíneo alternativo. Las bombas de piston de movimiento rectilíneo alternativo son las más conocidas, y aquellas cuyo orígen es más antiguo. Los inconvenientes generales de estas bombas son los siguientes: 1.° Exigen por lo general numerosas trasformaciones de movimiento entre el árbol motor y el vástago del piston ántes de llegar al movimiento rectilíneo alternativo que se desea y al movimiento ascensional continuo del agua, trasmisiones más ó ménos complicadas y costosas, depósitos de aire, etc.; 2.° Dan lugar á rozamientos, con frecuencia muy considerables, entre el piston y el cuerpo de bomba, y exigen por lo mismo un gasto mayor ó menor de conservacion de dicho piston y de sus revestimientos exteriores; 3.° Ocasionan una pérdida más ó ménos considerable de trabajo motor por efecto de la disminucion de seccion que experimenta la columna líquida á su paso por las válvulas y por el choque que éstas experimentan; y 4.° A causa de la inercia de las columnas de agua y de los órganos en movimiento, cuya velocidad varía y áun cambia de signo periódicamente, resultan pérdidas considerables de fuerza viva,

haciéndose á la vez imposible la adopcion de grandes velocidades sin que se produzcan choques violentos.

Bombas anglo-americanas. Estas bombas, cuya sencillez y buena construccion ha acreditado una prolongada experiencia, son aspirante-impelentes y de chorro continuo regularizado por un depósito de aire. Las válvulas, de goma volcanizada, son esféricas; el interior de los cilindros, los émbolos, los asientos de las válvulas y demás piezas expuestas al contacto con el agua son de bronce.

La figura 77 adjunta representa algunos tipos de estas

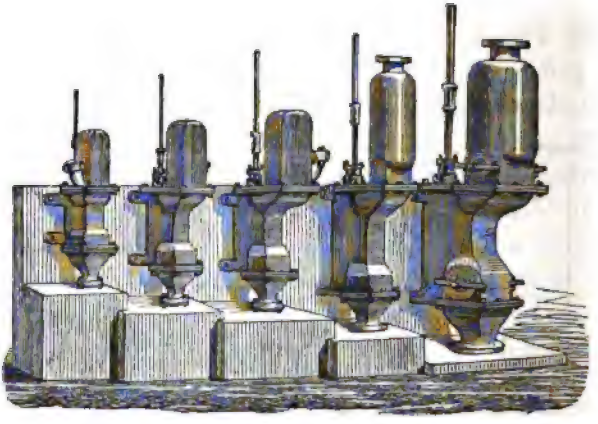


Fig. 77.—Bombas anglo-americanas.

bombas, que por órden de menor á mayor designaremos con los números 1, 2, 3, 4 y 5. Las condiciones de estas bombas se resúmen en el siguiente cuadro:

NÚMERO de las bombas	Diámetro del émbolo — *Milímetros*	Carrera — *Centímetros*	VOLÚMEN ELEVADO Por minuto — *Litros*	VOLÚMEN ELEVADO Por hora — *Litros*	Precio en reales	Peso en kilógramos
1	60	10	20	1.200	300	20
2	70	14	40	2.400	540	40
3	80	20	65	3.900	800	72
4	100	25	100	6 000	1.200	100
5	150	30	200	12.000	2.000	202

Estas bombas, provistas de volante y trasmision, se arman sobre una tabla que se fija fácilmente al muro por medio de pernos. En este caso se aplican á pozos cuya profundidad no pase de 5 ó 6 metros, y las condiciones económicas del mecanismo completo se resúmen en el siguiente cuadro:

NÚMERO	Diámetro del émbolo — *Milímetros*	VOLÚMEN ELEVADO Por minuto — *Litros*	VOLÚMEN ELEVADO Por hora — *Litros*	Altura á la que eleva el agua — *Metros*	Precio en reales	Peso en kilógramos
1	60	20	1.200	30	440	60
2	70	40	2.400	15	960	120
3	80	65	3.900	12	1.400	138

Para profundidades mayores de 7 á 8 metros, es indispensable colocar el cuerpo de bomba en el interior del pozo, lo más cerca del agua que sea posible, y en este caso se construyen mecanismos especiales para mover las bombas desde la parte superior.

La figura 78 adjunta representa una bomba del número 2 ó 3 movida por un doble manubrio.

Cuando no sea suficiente el esfuerzo de uno ó de dos obreros, actuando respectivamente sobre un manubrio simple ó doble, para elevar el agua desde una gran profundidad, se puede disponer un malacate, como se indica en la fig. 79

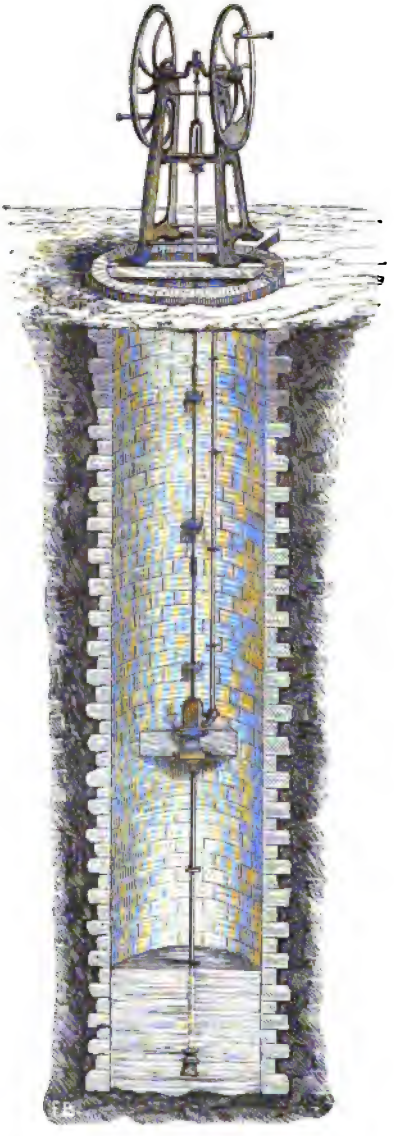


Fig. 78.—Bomba anglo-americana movida por doble manubrio.

adjunta. Una caballería con bomba de núm. 3 eleva el agua á 40 metros; con núm. 4 á 25 metros; con núm. 5 á 12 metros. Aunque cueste algo más caro, es preferible para la regularidad del movimiento de la caballería mover dos bombas pequeñas á mover una sola grande, en cuyo caso la cañería ascendente es común á las dos bombas.

Un malacate completo con su biela y guia, arreglado para mover una sola bomba, vale 2.100 rs.

El mismo malacate con dos bielas y dos guias, arreglado para mover dos bombas, vale 2.300 rs.

A las bombas números 3, 4 y 5 se les suele aplicar cañerías de hierro fundido con rebordes torneados y unidos por medio de tornillos, lo cual permite armarlas y desarmarlas con suma facilidad. Sus precios son:

Para bombas	del núm. 3.....	á 30 rs.	por metro.
—	del núm. 4 ó dos de núm. 3..	á 45	—
—	del núm. 5 ó dos de núm. 4..	á 65	—
—	— dos de núm. 5..	á 75	—

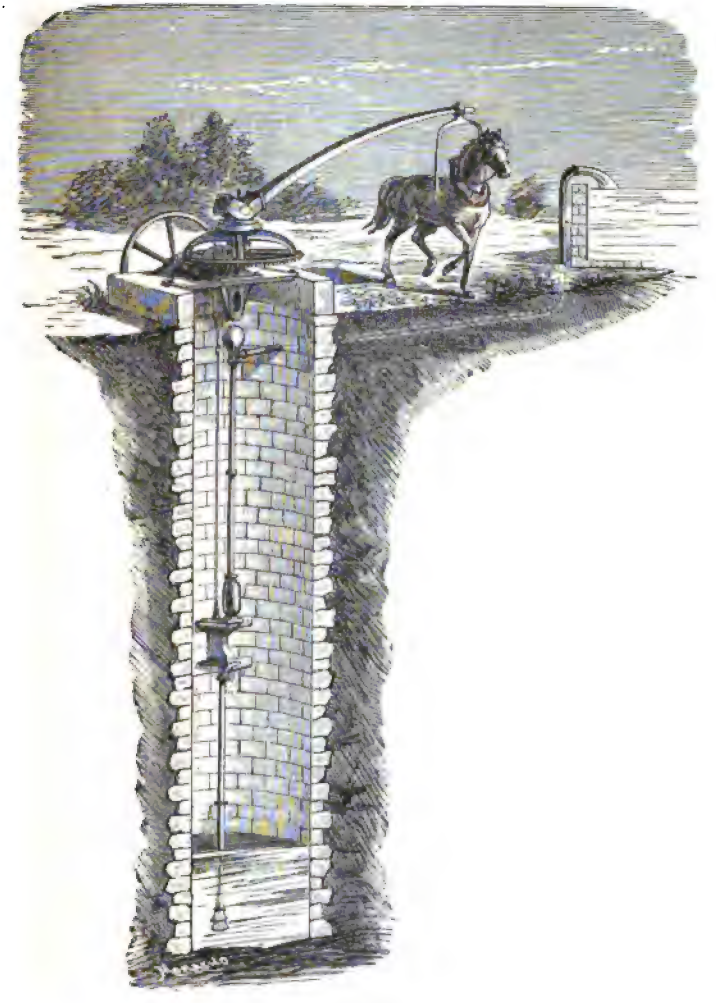


Fig. 79.—Bomba anglo-americana movida por malacate.

Las varillas con sus empalmes de macho y hembra, con chabeta, valen respectivamente 15, 17, 20, 26 ó 30 rs. por

metro, segun sean para bombas del núm. 1, 2, 3, 4 ó 5.

Las válvulas de auxilio puestas en la parte inferior del tubo de aspiracion valen respectivamente 60, 70, 80, 90 ó 110 rs., segun sean tambien del núm. 1, 2, 3, 4 ó 5.

Todos estos datos se refieren á la casa constructora de Pfeiffer de Barcelona.

La elevacion de grandes cantidades de agua desde una gran profundidad, sólo puede practicarse económicamente empleando la fuerza del vapor. La figura 80 adjunta representa una instalacion completa, que á su sencillez reune todas las condiciones de estabilidad que requieren las máquinas destinadas á esta clase de trabajos.

Las máquinas de vapor destinadas al movimiento de las bombas son verticales y forman cuerpo con su caldera, que es de hogar interior, con hervidores trasversales de hierro *Lowmoor*. El cilindro lleva envolvente de vapor y la expansion es variable por la excéntrica. Va montada la máquina sobre un zócalo de hierro fundido, que sirve á la vez de cenicero y de depósito de agua caliente para la alimentacion.

Los precios de estas máquinas en la casa Pfeiffer son:

	Reales.
Máquina de 2 caballos	10.000
— 3 —	12.000
— 4 —	14.000
— 6 —	18 000
— 8 —	23.000

Los movimientos completos, con sus bielas y guias, montados sobre una fuerte placa de hierro, valen:

	Reales.
Para dos bombas del núm. 4.....	2.600
— del núm. 5.....	3.800

Bombas gemelas horizontales. La casa Pfeiffer de Barcelona construye tambien un sistema formado por dos

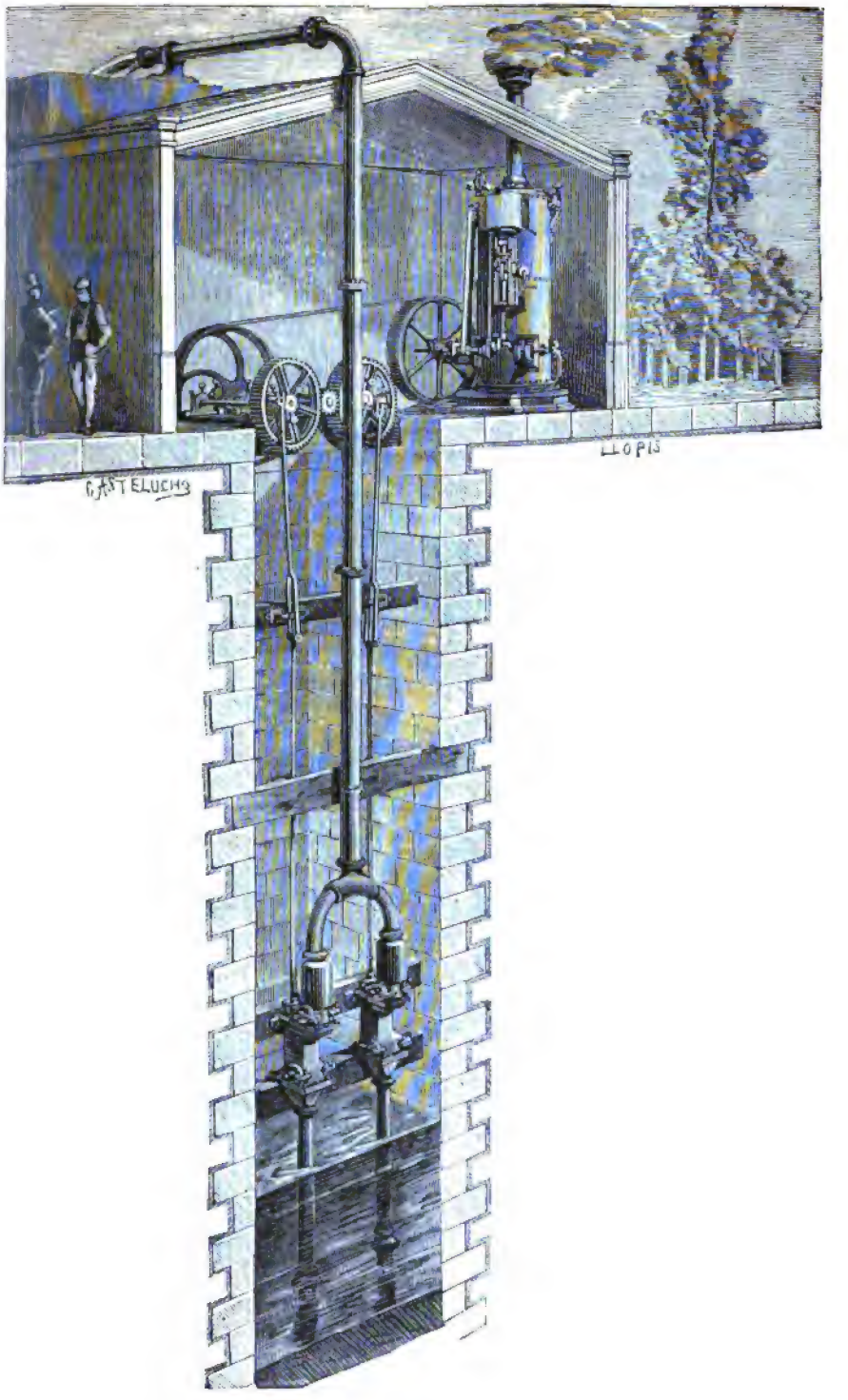


Fig. 80.—Doble bomba anglo-americana movida por máquina de vapor.

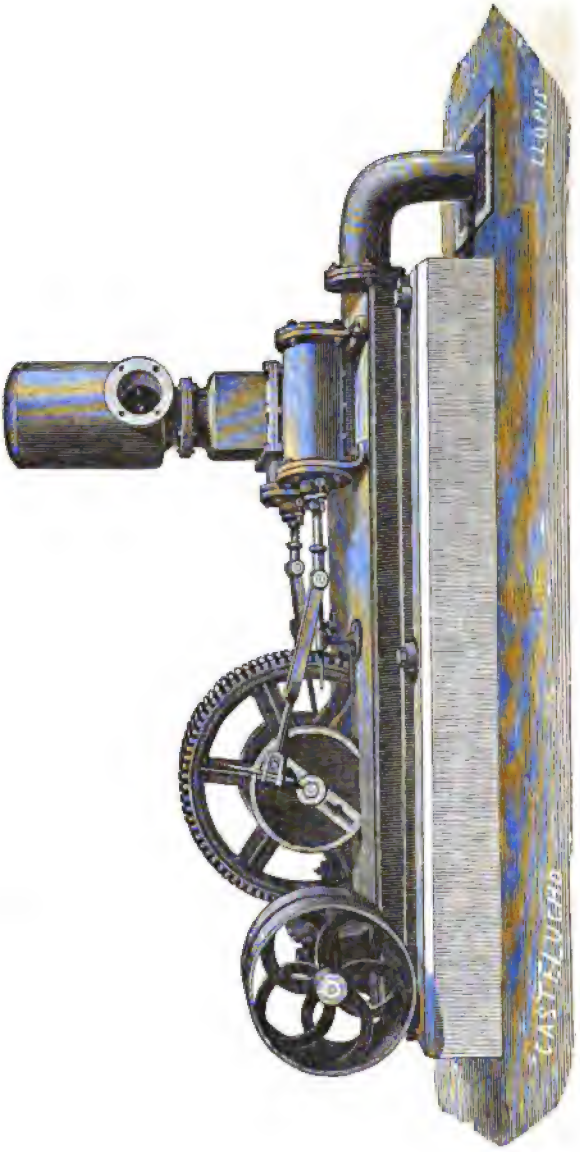


Fig. 81.—Bombas gemelas horizontales.

bombas de doble efecto (fig. 81), montadas sobre una sólida placa de hierro fundido, las cuales reciben el movimiento del eje motor por medio de una correa, ó bien acoplando directamente dicho eje con el de las bombas.

Los cuerpos de bomba están revestidos interiormente por un cilindro de cobre, en el que trabaja el piston, evitándose así el roce ocasionado por la oxidacion natural que se produce en el hierro durante las prolongadas alternativas de reposo á que se hallan sujetas las bombas destinadas al riego. Con estas bombas se puede elevar hasta 30 metros cúbicos de agua por hora. Su precio, montadas sobre el zócalo de fundicion, es de 8.500 rs.

Bombas de sistema llamado «Americano». La

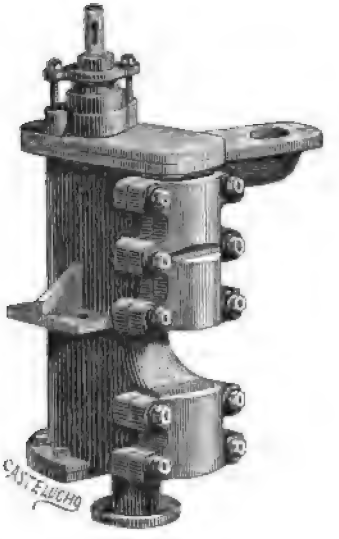


Fig. 82.—Bomba americana.

Maquinista terrestre y marítima de Barcelona construye un sistema de bombas llamadas *Americanas* que se aplican con ventaja á la extraccion del agua de grandes profundidades. Las figuras 82, 83 y 84 dan suficiente idea de las mismas.

Las condiciones económicas de estas bombas se indican en el siguiente cuadro:

Diámetro en milímetros	Carrera en milímetros	Emboladas por minuto	Volúmen por hora	Fuerza por metro de altura	Diámetro de los tubos	Precio en pesetas
60	150	50	1.100 lit.	0,010 cab.	40 m/m	90
75	160	50	1.750 »	0,015 »	45 »	120
90	200	50	3.400 »	0,020 »	55 »	200
100	250	45	4.700 »	0,028 »	70 »	270
130	300	45	9.650 »	0,050 »	90 »	370
160	350	35	13.200 »	0,085 »	120 »	490
200	450	35	28.700 »	0,160 »	160 »	800
240	550	35	47.000 »	0,285 »	180 »	1.220

Las bombas de 60, 75, 90, 100 y 130 milímetros de diámetro, se construyen segun el modelo figura 82. Las de 160, 200 y 240 milímetros de diámetro, se construyen como el modelo figura 84.

Las bombas de 60 y 75 milímetros de diámetro pueden ir montadas sobre una tabla y con su volante para ser movidas á mano, segun se indica en el grabado número 83; siendo el precio respectivo, con movimiento completo, de 150 y 200 pesetas.

Con la bomba de 60 milímetros de diámetro, un hombre puede elevar 500 litros de agua por hora hasta una altura total de 30 metros sobre el nivel del agua en el pozo; y con la bomba de 75 milímetros diámetro, 850 litros por hora á 16 metros.

Para facilitar la buena marcha de las bombas se emplean válvulas de retencion y coladores de la forma indicada en la figura 85 adjunta.

Para la elevacion, lo mismo que para la conduccion de las aguas, se emplean tubos de hierro colado, cuyas dimensiones y precios se indican en el siguiente cuadro:

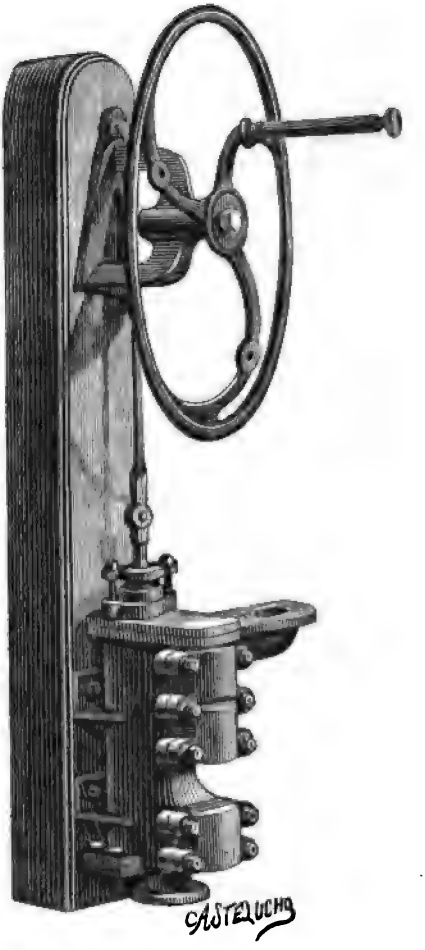


Fig. 83.—Bomba americana movida por medio de manubrio.

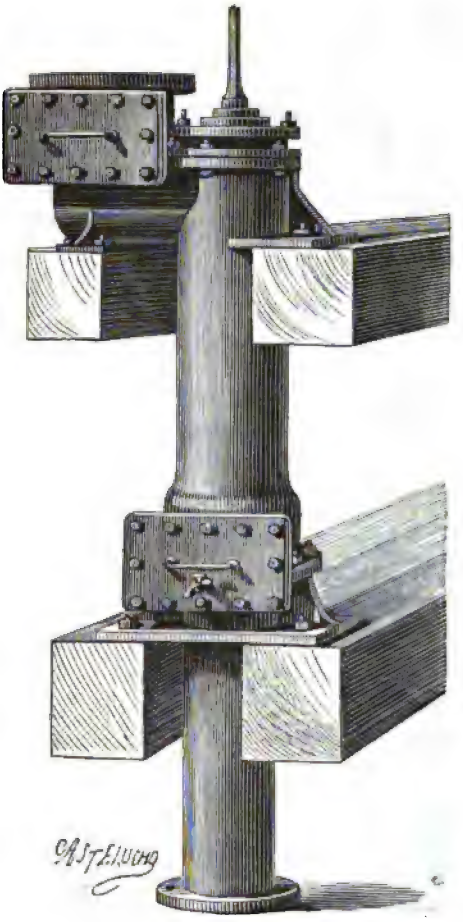


Fig. 84.—Bomba americana.

Fig. 85.—Colador y válvula de retencion.

DIÁMETRO interior — *Milímetros*	LARGO — *Metros*	DIÁMETRO de bridas — *Milímetros*	PESO — *Kilógramos*	PRECIO por kilógramo — *Pesetas*
80	1,50	200	56	0,450
90	1,50	210	62	0,450
100	1,50	220	67	0,450
110	1,50	230	72	0,430
120	1,50	240	78	0,430
130	1,50	250	84	0,430
140	2,00	265	115	0,400
150	2,00	280	123	0,400
160	2,00	300	130	0,400
170	2,00	310	138	0,380
180	2,00	320	146	0,380
190	2,00	330	155	0,380
200	2,50	340	205	0,380
210	2,50	350	214	0,380
220	2,50	360	223	0,380
230	2,50	370	232	0,375
240	2,50	380	241	0,375
250	2,50	400	250	0,375
260	2,50	410	270	0,375
270	2,50	420	290	0.375
280	2,50	430	310	0,375
290	2,50	440	328	0,375
300	2,50	450	345	0,375

Como órganos auxiliares se emplean asimismo (fig. 86) tubos corredizos ó *alargaderas* para la aspiracion, los cuales son de mucha utilidad en todos aquellos casos en que hay necesidad de achicar á medida que se profundiza el pozo ó la excavacion.

Para interrumpir á voluntad el paso del agua por las cañerías, construye la *Maquinista terrestre y marítima* llaves de paso ó válvulas de bronce (figuras 87 y 88), cuyas dimensiones y precios se indican en el siguiente cuadro:

Fig. 86.—Tubo corredizo.

Fig. 87.—Llave de paso de bronce.

Fig. 88.—Llave de paso de bronce.

Diámetro — *Milímetros*	Diámetro de bridas — *Milímetros*	Distancia aproximada entre bridas — *Milímetros*	Precio modelo fig. 83 — *Pesetas*	Precio modelo fig. 87 — *Pesetas*
30	100	130	30	20
40	110	140	40	30
50	130	150	70	40
60	150	170	95	55
70	160	180	120	80
80	180	200	150	105
90	190	210	200	140

Fig. 89.—Llave de paso de hierro fundido.

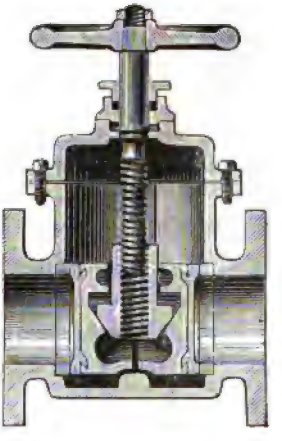


Fig. 90.—Corte de la figura anterior.

Con el mismo objeto construye otras válvulas (figuras 89 y 90) de hierro fundido con asiento de bronce, y cuyas dimensiones y precios se resúmen de la manera siguiente:

Diámetro — *Milímetros*	Diámetro de bridas — *Milímetros*	Distancia aproximada entre bridas — *Milímetros*	Precio — *Pesetas*
40	110	140	40
50	130	150	45
60	150	170	52
70	160	180	62
80	200	200	74
90	210	220	85
100	220	250	100
110	230	250	110
120	240	260	120
130	250	260	140
140	265	260	155
150	280	280	170
160	300	300	180
180	320	320	210
200	340	340	230
250	400	370	360
300	450	400	490

Bombas de vapor de accion directa. Con aplicacion especial á los agotamientos, y en general á todos aquellos casos en que hay necesidad de elevar grandes cantidades de agua á una altura cualquiera, construye la *Maquinista terrestre y marítima* bombas de vapor de accion directa, ó sea bombas en las cuales el cilindro de vapor se halla acoplado al de la bomba, entendiéndose en dicho caso que la fuerza motriz se suministra por medio de un generador portátil de vapor. La figura 91 adjunta da clara idea de la disposicion del aparato.

Los datos más interesantes sobre estas bombas se resúmen en el siguiente cuadro:

Diámetro del cilindro de vapor.....	Diámetro del cilindro de la bomba ..	Carrera de émbolos..	Emboladas por minuto.....	Volúmen por hora.	Para alimentar calderas de caballos..	Altura á que pueden elevar el agua por cada atmósfera de presion.....	Diámetro de los tubos de aspiracion y de ascension.....	Diámetro del tubo de entrada de vapor..	Diámetro del tubo de salida del vapor.....	TOTAL.		PRECIO.
										Largo.	Ancho.	
Milim.	*Milim.*	*Milim.*		*Litros.*		*Metros.*	*Milim.*	*Milim.*	*Milim.*	*Metros.*	*Metros.*	*Pesetas.*
55	30	150	100	1.100	25	23	20	10	12	0,70	0,18	420
75	35	230	100	2.400	50	30	25	12	20	0,90	0,15	550
100	50	230	70	3.400	70	27	35	20	25	1,07	0,20	650
100	100	230	70	10.000	»	9	75	20	25	1,22	0,35	1.500
150	75	300	50	7.000	140	27	50	20	25	1,22	0,35	950
150	150	300	50	28.500	»	6,5	100	20	25	1,27	0,43	1.700
175	175	300	50	38.900	»	6,5	150	25	32	1,38	0,51	1.900
200	100	300	50	12.700	250	27	75	32	40	1,27	0,43	1.800
200	200	450	35	53.000	»	6,5	150	32	40	1,65	0,56	2.300
250	200	450	35	53.000	»	10,5	150	35	45	1,85	0,63	3.000

Bombas centrífugas. Las bombas centrífugas son de muy frecuente uso para la elevacion de las aguas destinadas al riego. No deben éstas confundirse con las llamadas

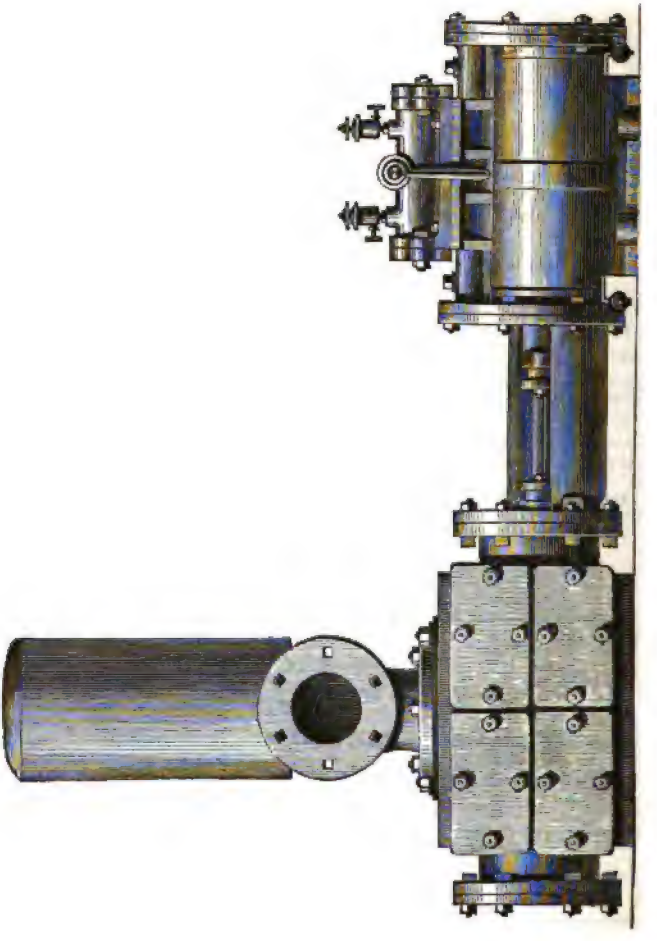


Fig. 91.—Bomba de vapor de accion directa.

comunmente *rotatorias*, puesto que unas y otras están fundadas en distinto principio. Son bombas centrífugas todas aquellas en las cuales se aspira el agua hacia el centro de un tambor móvil en el sentido de la aspiracion y se pro-

yecta hacia la circunferencia en el sentido de la propulsion, bajo la influencia de componentes centrífugas de inercia engendradas por un movimiento rápido de rotacion de dicho tambor. En las bombas simplemente rotatorias no desempeña la fuerza centrífuga funcion alguna apreciable.

Ofrecen las bombas centrífugas como ventajas generales su coste económico, su facilidad de instalacion y el estar poco expuestas á averías.

Sus inconvenientes generales consisten:

1.° En consumir inútilmente una gran cantidad de trabajo motor. La teoría demuestra, en efecto, que su rendimiento máximo no puede exceder de 66 por 100, miéntras que el efecto útil teórico de una buena bomba de piston ó de una buena rotatoria puede exceder del 90 por 100. Esto explica por qué el efecto útil, real y práctico de una bomba centrífuga no suele pasar de 50 por 100, puesto que si funcionando perfectamente todos los órganos y marchando la máquina á la velocidad conveniente, y estando hecha la instalacion en las mejores condiciones aconsejadas por la teoría, no pasa el efecto útil de 0,66, debe bajar necesariamente de ese tipo máximo cuando deje de cumplirse alguna de aquellas condiciones.

En el concurso de máquinas elevadoras de aguas celebrado en Libourne en 1879 se concedió el primer premio á una bomba centrífuga de Neut y Dumont, movida por una locomóvil de Hermann-Lachapelle. La máquina de vapor desarrollaba una fuerza efectiva de 20 caballos, y la bomba tan sólo elevaba 151 litros por segundo á $4^{m},50$ de altura, lo cual equivale á 9 caballos de trabajo útil, ó sea $^{9}/_{20}$ ó 45 por 100 de la fuerza motriz.

2.° Otro inconveniente ofrecen generalmente las bombas centrífugas, y consiste en descebarse fácilmente bajo la influencia del ingreso de una pequeña cantidad de aire en el centro de la bomba, aire que difícilmente puede ser expulsado hacia la circunferencia por el movimiento de rotacion del mecanismo.

3.° Exigen además las bombas centrífugas una velocidad

de rotacion considerable y con frecuencia trasmisiones de movimiento complicadas.

Y 4.° En general no se prestan á la elevacion de aguas á alturas superiores á 10 ó á 15 metros.

Entre los varios tipos que se construyen de bombas centrífugas citaremos las de Neut y Dumont de Lille, Lacour de la Rochelle, Farcot y Gwynne, de Lóndres.

El mecanismo de una bomba centrífuga queda reducido, en su mayor sencillez, á una rueda de paletas montada sobre un eje animado de un movimiento rápido de rotacion (fig. 92),

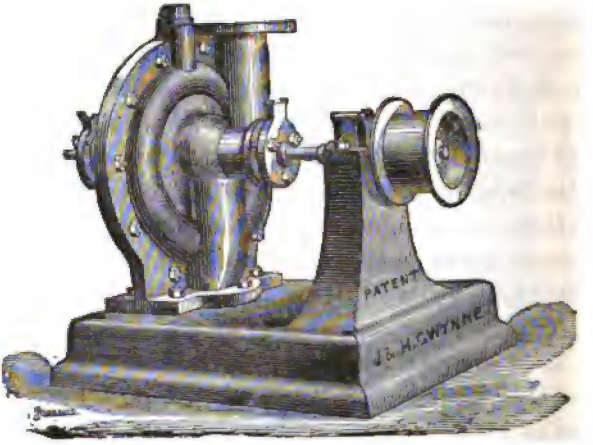


Fig. 92.—Cuerpo de bomba centrífuga, sistema Gwynne.

y encerrada en una caja ó recipiente con dos agujeros á que se adaptan los tubos de entrada y salida del agua. La bomba centrífuga ha sido por lo tanto llamada por analogía *ventilador de agua,* en el que ésta, entrando por el centro de la rueda es impelida por las paletas á la circunferencia, y de allí empujada hacia el tubo de ascension, unido tangencialmente al cuerpo de bomba. La salida del agua produce al rededor del eje una disminucion de presion, ó, como si dijéramos, una especie de vacío que aspira el agua del nivel inferior, la cual sube con tanta más fuerza, cuanto mayor sea la

velocidad de rotacion de la rueda, y por consiguiente la fuerza centrífuga desarrollada. Para que la succion se verifique en buenas condiciones, la altura correspondiente no debe pasar de 3 á 4 metros; porque produciéndose el ascenso del agua por el exceso de la presion atmosférica sobre la que se ejerce en el centro de la rueda, es preciso que este exceso comunique al líquido una velocidad bastante para satisfacer al gasto que se desea en la extremidad del tubo de propulsion. Segun la opinion más corriente, la máxima altura á que funcionan en buenas condiciones las bombas centrífugas es de 8 metros, correspondiendo 4 al tubo de aspiracion y otros 4 al de elevacion. Claro es que para poner en movimiento esta clase de aparatos hay necesidad de cargarlos ó cebarlos previamente, es decir, hay que llenar de agua el tubo aspirante, para cuyo efecto tiene dispuesta una válvula de retencion en su parte inferior.

Bomba Gwynne. En las bombas centrífugas del sistema Gwynne, de que vamos á ocuparnos, las paletas de la rueda interior son planas y se hallan dirigidas en el sentido de los radios; pero con los extremos encorvados, que llegan casi tangencialmente á las paredes interiores de la caja. El eje de la rueda de paletas se prolonga exteriormente terminando por una polea de trasmision que se hace comunicar con el motor por medio de una correa.

El uso de las bombas centrífugas que construye la casa J. y H. Gwynne de Lóndres se ha extendido rápidamente por todos los países del mundo civilizado, prueba evidente de las ventajas de dichos aparatos en las circunstancias especiales en que se aplican. Segun el catálogo detallado de la casa constructora, que tenemos á la vista, se han empleado dichas bombas para elevar á una altura máxima de 24 metros (80 piés ingleses) de 1 á 525 litros por segundo (de 15 á 7.000 *galones* por minuto), y á menor altura han realizado un prodigio que por sus colosales proporciones bien merece que le dediquemos algunas líneas.

Para el saneamiento de las lagunas de Ferrara, en el N. de

Italia, que comprenden una superficie de 200 millas inglesas cuadradas (51.200 hectáreas), ha construido y puesto en obra la casa Gwynne ocho colosales bombas que elevan dos mil toneladas de agua por minuto á una altura media de 7 piés 3 pulgadas, siendo la máxima de 12 piés ingleses, vertiéndola al rio Volano en Cadigoro, en cuyo punto se hallan las bombas establecidas. La misma casa Gwynne ha construido las máquinas que comunican el movimiento á esos colosales aparatos. Para poner mejor de manifiesto la grandiosidad de esa empresa, reduciremos á otros tipos los datos anteriores, que hemos tomado de un artículo del periódico profesional *The Engineering* del 25 de Julio de 1873, trascrito en el catálogo inglés de que hemos hecho mérito.

El volúmen de 2.000 toneladas por minuto equivale, en medidas métricas, á 2.268 metros cúbicos en el mismo tiempo, ó á 37,71 metros cúbicos por segundo; es decir, que el gasto que suministran las ocho bombas representa un volúmen de agua más de dos veces y media mayor que el que llevaba el rio Ebro en Zaragoza en el mínimo estiaje del año de 1870 (1). Repartido el volúmen de 37,71 metros cúbicos entre las ocho bombas, corresponde á cada una un gasto de 4.713 litros; es decir más de 4 ½ metros cúbicos por segundo, al cual no llegan en estiaje la mayor parte de nuestros rios de tercer órden.

El volúmen de agua elevado por cada una de las bombas á la altura media de 7 piés 3 pulgadas (2^m,22), representa un trabajo útil de 140 caballos dinámicos, y suponiendo que la bomba aproveche 0,50 del trabajo motor, la fuerza efectiva de cada una de las máquinas de vapor destinadas á dar movimiento á la bomba respectiva debe ser de 210 caballos.

En vista de estos datos se concibe la importancia que estos aparatos de elevacion de aguas pueden tener en nuestro país, áun para los riegos en grande escala. Podrian estu-

(1) Segun los datos de la Division hidrológica, el mínimo estiaje del Ebro en Zaragoza fué en 1870 de 14 metros cúbicos por segundo.

diarse las ventajas de la aplicacion de esas grandes bombas en los puntos de la region inferior de nuestros rios principales, del Ebro, por ejemplo, en los cuales, la pendiente escasa del rio y la elevacion de las márgenes exigen un desarrollo excesivo de canal y un movimiento de tierras demasiado considerable, para que pueda aplicarse económicamente el sistema comun de presas y canales.

Reduciendo el proyecto á proporciones más modestas, creemos el sistema susceptible de ser adoptado por la asociacion de los propietarios de ciertas zonas en que el riego por presas y canales ordinarios no pueda resultar económico, en virtud de circunstancias dependientes de los accidentes topográficos.

Concretando ya más la cuestion, expondremos algunos detalles económicos relativos á condiciones particulares de establecimiento. La citada casa constructora expende tam-

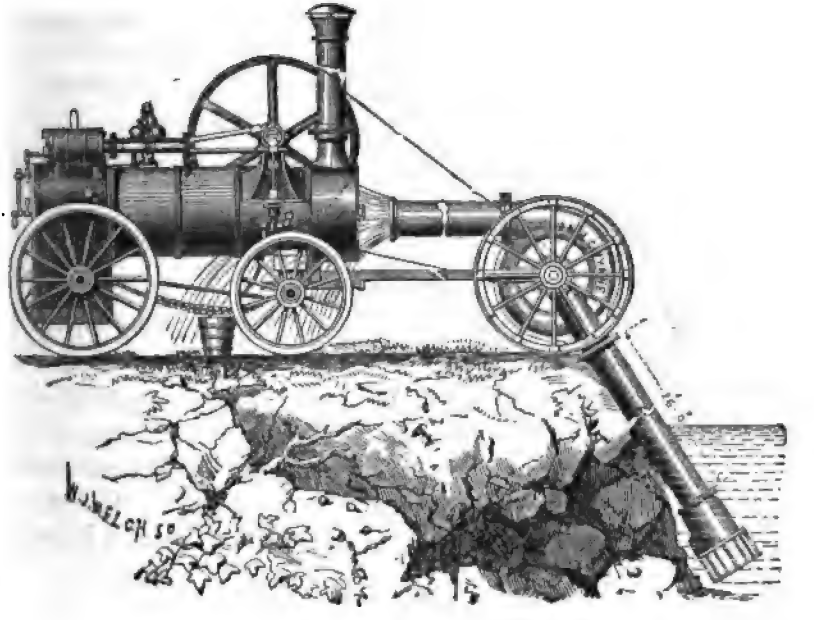


Fig. 93.—Bomba centrífuga Gwynne con locomóvil.

bien bombas del indicado sistema, movidas por máquinas de vapor locomóviles, siendo tambien locomóvil la bomba, pudiendo con ella regarse superficies considerables.

La figura 93 adjunta da suficiente idea de la disposicion y marcha de los aparatos.

Los precios al pié de fábrica de las máquinas motoras, y los de las bombas con todos sus accesorios, así como los datos relativos al volúmen de agua elevada á distintas alturas, vienen condensados en el siguiente cuadro, que hemos compuesto con el catálogo inglés á la vista, reduciendo los tipos á las medidas métricas, y tomando el segundo como unidad de tiempo.

Máquinas de vapor locomóviles con correaje de trasmision.		Bomba centrífuga Gwynne con todos los accesorios, incluso el carreton, elevando el agua á la altura de					
		3,65 metros (12 piés ingleses).			7,62 metros (25 piés ingleses).		
Fuerza en caballos.	Precio. — *Reales.*	Número de la bomba (1).	Litros por segundo	Precio de la bomba completa. — *Reales.*	Número de la bomba.	Litros por segundo.	Precio de la bomba completa. — *Reales.*
2 ½	12.500	5	34	6.600	4	18	6.200
3	15.000	6	49	7.700	4	26	6.200
4	18.000	7	75	8.900	5	34	6.800
6	22.000	8	112	10.200	6	49	7.900
8	25.000	9	150	12.200	7	71	8.200
10	29.500	10	187	15.500	8	90	10.300
12	33.500	11	225	17.500	9	112	12.400
14	41.500	11	262	17.500	10	127	15.700
16	45.500	12	300	20.000	10	150	15.700

En uno de los notables artículos, que con el título de *Pláticas agrícolas* ha publicado en *La Época* nuestro amigo el inteligente agricultor y diputado malagueño D. Manuel Casado, encontramos consignado que los Sres. Martin Heredia é hijos tienen instaladas dos bombas Gwynne junto á la des-

(1) El número de la bomba corresponde al de pulgadas inglesas que mide el diámetro de los tubos.

embocadura del rio Guadalhorce para el riego del cortijo de la Isla, donde hay 150 fanegas plantadas de caña dulce. El coste de las dos bombas centrífugas, y el de la máquina de vapor que las mueve, no llega, segun el Sr. Casado, á 140.000 rs. Las columnas de agua que dichas bombas elevan á 5 metros de altura tienen $0^m,40$ de diámetro (número 16), y dan dos chorros de tal magnitud, que no son bastantes 30 hombres para dirigir el riego con sus azadas. Para la citada plantacion de 150 fanegas basta con que marche la máquina solamente de dia dos veces por semana. En realidad, dice el Sr. Casado, podrian regarse con ella 600 fanegas de tierra, gastando media tonelada de carbon al dia, ó sea un décimo de real por dia y fanega, ó un real la fanega por cada riego.

Es indudable que en las circunstancias indicadas por el Sr. Casado sale el riego sumamente barato, áun tomando en cuenta el interés y amortizacion del capital empleado en la adquisicion de las máquinas.

Finalmente, los Sres. Gwynne aplican tambien á sus bombas como motor en ciertos casos un molino de viento de su construccion, ó un malacate para uno, dos, tres ó cuatro caballos. De la primera disposicion da suficiente idea la figura 94 adjunta.

Los principales datos sobre la bomba Gwynne movida por un malacate se resúmen en el siguiente cuadro, que hemos reducido tambien á los de tipos de medidas usadas en España:

MALACATE CON BOMBA Y TODOS SUS ACCESORIOS PARA ELEVAR EL AGUA Á

3,04 METROS (10 PIÉS INGLESES).				6,08 METROS (20 PIÉS INGLESES).				9,12 METROS (30 PIÉS).			
Malacate para	Número de la bomba.	Litros por 1''.	Precio total. — *Reales vn.*	Malacate para	Número de la bomba.	Litros por 1''.	Precio total. — *Reales vn.*	Malacate para	Número de la bomba.	Litros por 1''.	Precio total. — *Reales vn.*
1 caballo	4	15,0	5.500	1 caballo	3	7,5	4.900	1 caballo	2	3,3	4.500
2 —	6	33,5	6.800	2 —	4	15,0	5.600	2 —	3	6,7	5.300
3 —	8	60,0	9.100	3 —	5	26,2	6.600	3 —	4	10,5	6.000
4 —	9	75,0	11.000	4 —	6	37,5	9.800	4 —	5	18,7	7.000

Los Sres. Gwynne han perfeccionado últimamente sus bombas centrífugas construyendo un tipo, denominado »La Invencible,» que ofrece sobre el modelo antiguo la ventaja de no necesitar válvula de retencion en el tubo de aspira-

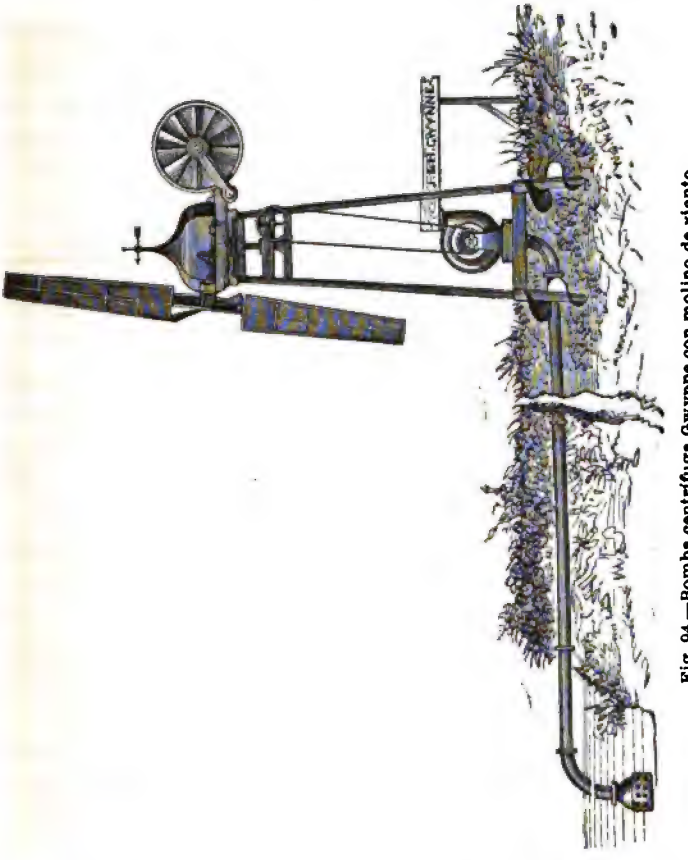


Fig. 94.—Bomba centrífuga Gwynne con molino de viento.

cion, estando provista al efecto de un pequeño agotador ó aspirador dispuesto sobre el tubo de descarga, así como del mecanismo para el movimiento que recibe del eje mismo de la bomba, consiguiéndose por este medio que la bomba conserve siempre la carga y esté preparada para funcionar. Tampoco exige el nuevo modelo uniones, piezas espirales,

ni ningun otro mecanismo, pues está dispuesta de manera que pueda aspirar á un ángulo cualquiera sin que se produzca entorpecimiento alguno.

Otra de las buenas condiciones de la nueva bomba es la de ser fácilmente desmontable en piezas, pues el disco interior y el eje pueden ser quitados, examinados y vueltos á colocar en ménos de cinco minutos, y el interior puede inspeccionarse en ménos de un minuto; circunstancias muy dignas de ser tenidas en cuenta, sobre todo cuando el agua que hay que elevar lleva en suspension sustancias extrañas.

Bombas rotatorias. Las bombas rotatorias, que, segun ya hemos indicado, pueden ser de un sólo eje ó de dos ejes, son aparatos de elevacion de aguas, en los cuales el eje ó los ejes del mecanismo rotatorio, en virtud de la rotacion misma, engendran un volúmen creciente por el lado de la aspiracion, y otro decreciente por el de la propulsion.

Bombas rotatorias de un solo eje. Están ordinariamente constituidas por un tambor excéntrico respecto de un cuerpo de bomba cilíndrico que lleva paletas móviles. Por el movimiento de rotacion del cilindro engendra el tambor, como hemos dicho anteriormente, un volúmen creciente por el lado de la aspiracion y decreciente por el de la propulsion.

Las bombas rotatorias de un solo eje ofrecen, por lo general, uno de los inconvenientes siguientes: 1.º El rozamiento de las paletas contra las paredes del tambor cuando se procura la perfeccion en los ajustes, y el rozamiento de dichas paletas en las ranuras en que se introducen, absorben una fraccion notable del trabajo motor, que llega á un 40 ó 50 por 100 cuando se emplean muchas paletas; 2.º Si se disminuye el número de las paletas, se obtiene tambien una disminucion del efecto útil por las variaciones que experimenta la velocidad del agua á su paso por el tambor, y las pérdidas consiguientes de fuerza viva; y 3.º Si los rozamientos disminuyen por el desgaste, disminuye tambien el efecto útil á consecuencia de los escapes de agua que se producen.

Los sistemas más comunes de bombas rotatorias de un

solo eje son los de discos radiales y resorte central; tales son las que se conocen con el nombre de sus inventores Ramelli, Allweiler, Ortmans, etc.

Es evidente que una bomba de dos paletas suministrará en general un volúmen idéntico al que proporcionarian dos bombas de piston de simple efecto aplicadas á un árbol giratorio, ó al de una sola bomba del mismo género y de doble efecto, siendo la superficie de la paleta igual á la del piston supuesto.

En el certámen internacional de motores y máquinas elevatorias celebrado en Valencia en el verano de 1880, vimos funcionar una bomba rotatoria de un solo eje, que difiere notablemente de todos los sistemas de que tenemos noticia y que debe suministrar un rendimiento considerable. Esta bomba, que construye la casa Back y Manson de Lóndres, fué inventada por el operario Mellor, de la misma casa, y ha sido introducida en España con la denominacion de *La Estrella*. En el punto más alto de la caja circular que constituye el cuerpo de bomba, se halla introducido un vástago que forma cuerpo con una gruesa lámina de bronce destinada á separar en dos porciones desiguales la caja del cuerpo de bomba, por una de las cuales se verifica la aspiracion y la propulsion por la otra. Esta paleta ó tabique interior movible se desliza á lo largo de una ranura abierta en una rueda de bronce excéntrica que gira con movimiento de vaivén, produciendo un movimiento oscilatorio en el tabique divisorio de las capacidades interiores del cuerpo de bomba. No existe en la máquina válvula alguna propiamente dicha, y siendo los rozamientos insignificantes, el efecto útil no puede dejar de ser notable. Los precios de las bombas para elevar desde 4.000 hasta 45.000 litros por hora, varian desde 1.600 á 5.200 rs. Dicho se está que la altura á que esta agua se eleve dependerá de la potencia del motor.

Bombas rotatorias de dos ejes. En las bombas rotatorias de dos ejes es más fácil conservar á la columna de agua que atraviesa el cuerpo de bomba una seccion y una

velocidad constantes, y por lo mismo es tambien más fácil conseguir un efecto útil más elevado que en las de un sólo eje. Uno de los tipos que á nuestro juicio llenan mejor su objeto es la bomba Greindl, que se halla constituida por una caja, en la cual se mueven dos rodillos cilíndricos tangentes; el primero lleva dos paletas que hacen el oficio de émbolo, y que, en su movimiento de rotacion, se introducen alternativamente en una escotadura de forma epicicloidal, abierta en toda la longitud del segundo rodillo. Dos engranajes que relacionan los ejes de los dos rodillos comunican al que lleva la escotadura una velocidad doble de la del primero, por cuyo medio se obtiene el paso sucesivo de las dos paletas por la escotadura única del rodillo. En el período del movimiento en que no existe contacto entre las superficies cilíndricas de los rodillos, se verifica éste entre las superficies cilíndricas de las paletas y del fondo de la escotadura, quedando sin embargo un cierto juego entre ambas superficies al paso de las paletas por la escotadura epicicloidal. Tal como se halla dispuesto el cuerpo de bomba, una molécula de agua conserva durante todo el período de tiempo en que recorre el tambor una velocidad uniforme y constante, con lo cual se evitan las pérdidas de trabajo debidas á la inercia.

Segun los experimentos verificados oficialmente en Francia en el arsenal de Brest, dan estas bombas del 70 al 90 por 100 del efecto útil, y se adaptan perfectamente á la elevacion del agua á 50, 60 y hasta 100 metros de altura.

Los datos relativos á las bombas Greindl y á los motores que construye el Ingeniero M. Poillon, boulevard Montparnasse, París, se resúmen en el siguiente cuadro:

Números de órden	LOCOMÓVILES		TRABAJO medio	BOMBAS GREINDL			
	Fuerza —	Precio —	—	Números de las bombas	Litros por minuto	Precio de la bomba —	Precio total —
	Caballos	*Francos*	*Kilográm.*			*Francos*	*Francos*
00	2	3.200	150,00	2	405	770	3.970
0	3	3.600	225,00	3	620	1.050	4.650
1	3 á 4	4.200	262,50	3 bis	708	1.250	5.450
2	5 á 6	5.800	412,50	4	1.410	1.700	7.500
3	6 á 8	6.200	525,00	5	1.417	2.100	8.300
4	8 á 10	7.500	675,00	5 bis	1.822	2.280	9.780
5	12 á 15	10.800	1.012,50	6	2.731	2.800	13.600
5 bis	12 á 15	10.800	1.125,00	6 bis	3.037	3.050	13.850
6	15 á 20	13.000	1.312,50	7	3.543	3.700	16 700
7	20 á 25	18.000	1.687,50	8	4.555	4.700	22.700
8	25 á 30	20.000	2.062,50	9	5.568	6.000	26.000

Pulsadores y pulsómetros. Los pulsadores y los pulsómetros son bombas de vapor de accion directa en que el vapor actúa de una manera inmediata sobre el líquido por pulsaciones sucesivas. Por su fácil instalacion ofrecen ventajas especiales, más bien que para elevar las aguas con destino al riego, para los agotamientos necesarios en ciertas construcciones hidráulicas. El pulsador podria llamarse *ariete de vapor*, porque ofrece grandes analogías con el aparato llamado ariete hidráulico. Se calcula que el pulsador Bretonniére consume un kilógramo de vapor por cada 500 litros de agua elevados á 10 metros de altura.

Para que el pulsador trabaje en buenas condiciones es preciso que la aspiracion se haga á ménos de 7 metros de profundidad. La altura máxima de elevacion del agua á que se ha aplicado el pulsador Bretonniére es de 25 metros, comprendiendo en ella la de aspiracion y la de propulsion. Dicho se está que esta clase de aparatos exigen un generador de vapor independiente.

Los pulsadores y sus accesorios, sin contar las calderas ó generadores de vapor, tienen las dimensiones y precios que se indican en el siguiente cuadro:

Número	Dimension del tubo de vapor	Dimension del tubo de aspiracion	Dimension del tubo de propulsion	Litros por hora	Precio	Válvula de aspiracion recomendada con todas las bombas	Válvula de contrapresion
	Milímetros	*Milímetros*	*Milímetros*		*Francos*	*Francos*	
1	7	38	25	2.730	250	25	25
2	7	50	38	6.525	500	44	44
3	13	76	50	13.500	650	75	63
4	13	100	63	22.500	875	88	75
5	19	114	76	40.500	1.125	100	88
6	25	126	88	59.400	1.375	125	100
7	25	125 ó 150	100	76.500	1.750	138	125
8	32	150 ó 175	125	117.000	2.500	210	138
9	38	175 ó 200	150	135.000	3.000	188	210
10	38	250	175	234.000	3.750	225	175
11	50	305	200	292.500	5.000	275	200

Pozos Norton ó instantáneos. Desde hace algunos años vienen llamando la atencion de los agricultores los llamados *pozos instantáneos*, cuya invencion se atribuye con más ó ménos fundamento al norte-americano M. Norton. Están fundados los pozos instantáneos en el principio de que las aguas subterráneas, por grande que sea la profundidad á que se encuentren, están sujetas á la presion atmosférica, á causa de que, si el agua ha penetrado por filtracion al través de las capas del subsuelo, es evidente que el aire habrá penetrado tambien y con mayor facilidad del mismo modo. Bajo este supuesto, si se introduce en la tierra un tubo hasta encontrar la capa acuífera, y se hace el vacío por medio de una bomba adaptada á la parte superior de dicho tubo, el agua se elevará en el mismo en virtud de la presion que la atmósfera ejerce sobre la capa subterránea. Desde luégo se comprende que esos pozos, cuando se hagan descender hasta una capa líquida de las que hemos llamado de superficie libre, esto es, de aguas no ascendentes, sólo podrán aplicarse á profundidades menores de 10 metros, como máxima altura de este líquido equilibrada por la presion atmosférica.

El aparato es sumamente sencillo: se compone de una serie de tubos de hierro de 2,5 á 3 metros de longitud, de un diámetro interior de 3 á 5 centímetros y de 10 á 12 milímetros de espesor. Estos tubos se atornillan unos á otros, y el que penetra primero está terminado en su parte inferior por una punta de acero, perfectamente templado, y de aristas vivas, y tiene además en una longitud de $0^m,60$ una porcion de agujeros para que en su interior pueda penetrar el agua. Este tubo se introduce por medio de un fuerte mazo, y en caso necesario con el auxilio de una machina. Cuando el primer tubo ha penetrado en toda su longitud, se desatornilla el collar y se atornilla otro tubo, golpeando sobre la cabeza de éste como se hizo ántes con el primero. De vez en cuando se echa una sonda para ver si se ha llegado á encontrar el agua. Cuando esto sucede, se coloca la bomba aspirante del aparato, y al poco rato de funcionar la bomba se ve llegar el

agua á la superficie. Este sencillo aparato puede realmente prestar muy útiles servicios; pero se comprende desde luégo que ha de ser en muy reducida escala y en circunstancias de terreno muy especiales. No puede aplicarse á profundidades mayores que la que ántes hemos indicado; no puede penetrar rocas duras, y siempre ha de suministrar un reducido volúmen por segundo, porque, teniendo un pequeño calibre, no puede aumentarse indefinidamente el número de emboladas para la unidad de tiempo, sin que se produzca, pasado cierto límite, la inutilizacion de la bomba.

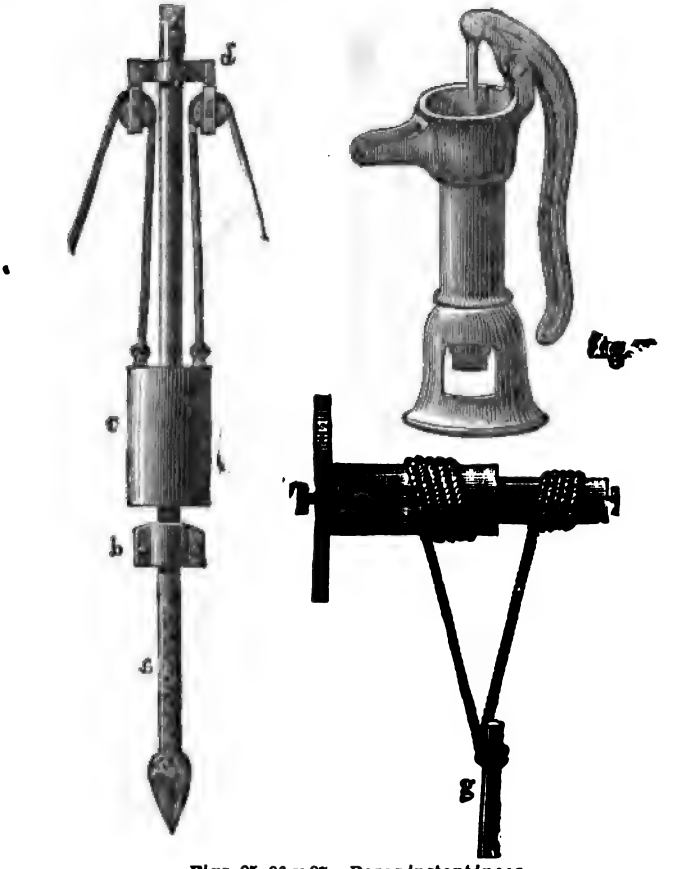
Las figuras 95 y 98 ponen de manifiesto otros dos procedimientos distintos para la hinca de los tubos del pozo Norton. En la figura 95, *b* representa un collar sujeto por medio de tornillos al tubo que se ha de introducir en el suelo; sobre la cabeza de este collar descarga sus golpes el martinete cilíndrico hueco *c*, cuyo peso es de 40 ó 50 kilógramos. La maniobra de este martinete se ejecuta por medio de dos cuerdas ó tirantes que pasan por las poleas fijas en el collar ó manguito superior *d* atornillado al tubo. Cuando despues de un cierto número de andanadas se ha clavado el tubo lo suficiente, se desatornillan los collares *b* y *d*, se ajusta un nuevo tubo, y colocando los collares en la posicion conveniente se continúa la operacion de un modo análogo hasta llegar á la capa acuífera.

En la figura 98 el collar superior forma la cabeza de un trípode de hierro que sirve de sostén al martinete y de guía al tubo, el cual sólo forma cuerpo temporalmente con el collar *b*. Esta segunda disposicion del aparato es más ventajosa que la primera en cuanto la hinca del tubo se verifica con mayor regularidad, y el descenso vertical se obtiene más fácilmente.

La figura 96 es una bomba aspirante sencilla que se atornilla al tubo una vez instalado, y la 97 representa un torno diferencial destinado á arrancar la tubería en caso necesario.

Las ventajas especiales de estos pozos consisten en pro-

porcionar en breve tiempo aguas claras en llanuras en que éstas no aparecen á la superficie ó en sitios en que los mantos más superficiales se hallan infectos por filtraciones de aguas sucias ó cenagosas.



Figs. 95, 96 y 97.—Pozos instantáneos.

Ofrecen además la ventaja de ser fácilmente trasportables, áun teniéndolos que sacar del suelo, y para esto último puede emplearse el mismo martinete golpeando de abajo arriba el collar, que en este caso se sujetaria á la cabeza del último tubo.

Cuando por el mismo efecto de la hinca, ó por haber dejado de funcionar por algun tiempo la bomba aspirante, se forman sedimientos de lodo ó de arena en el fondo de la tubería, obstruyendo los agujeros de entrada del agua, se re-

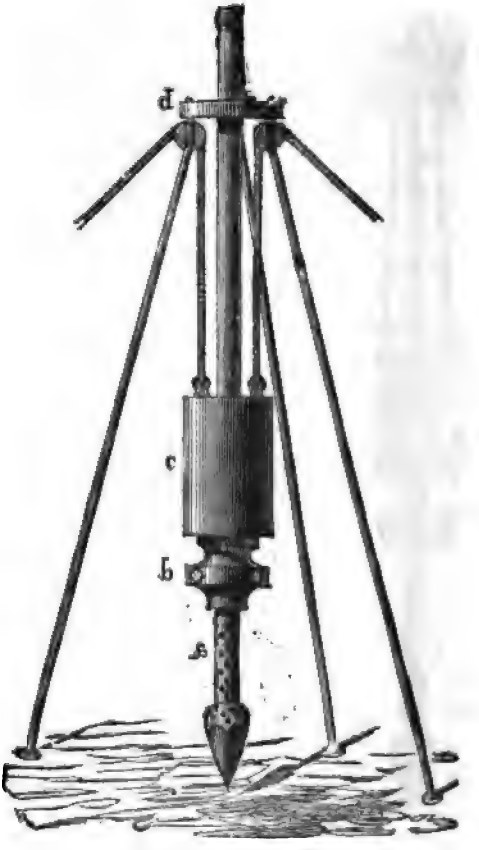


Fig. 98.—Pozos instantáneos.

media el inconveniente desatornillando la bomba y colocando en su lugar un embudo por el que se vierte agua hasta llenar la tubería. Puede en este caso revolverse el sedimento por medio de una varilla de sonda, y colocando en seguida dentro del pozo Norton un tubo que llegue hasta el fondo,

se atornilla la bomba en el extremo de este tubo y se hace funcionar dicha bomba vertiendo al mismo tiempo agua en el embudo, de modo que el pozo permanezca siempre lleno. Operando de esta manera se obtiene una corriente ascendente de agua turbia que, alimentada por la descendente de agua clara que se vierte por el embudo, acaba por dejar limpio el pozo, en cuyo caso ya sólo resta quitar el tubo auxiliar de limpia y atornillar nuevamente la bomba al pozo.

Los pozos Norton son de muy frecuente uso en los parques de Inglaterra, y en la guerra de Abisinia prestaron necesarios y excelentes servicios al ejército de la Gran Bretaña.

PRECIO DEL AGUA ELEVADA POR MEDIOS MECÁNICOS.

Antes de dar por terminado este capítulo, réstanos hacer algunas breves consideraciones acerca del precio á que resulta por unidad de volúmen el agua elevada por medios mecánicos.

Conocido el efecto útil de los diversos receptores y de las máquinas elevatorias, el coste de adquisicion, conservacion y entretenimiento de los aparatos, y los gastos que diariamente exige la ejecucion de un cierto trabajo, será fácil calcular el coste de este trabajo cuando venga representado por un volúmen de agua elevado á cierta altura. Para ello al capital á que ascienda el coste de adquisicion é instalacion de las máquinas habrá que fijarle un interés y un tanto por ciento de amortizacion proporcionado al plazo en que dicho capital necesite reconstituirse, cuyos intereses se distribuirán entre los dias en que durante el período anual trabajen ó funcionen las máquinas. Al tanto diario que resulte habrá naturalmente que añadir los gastos que en la misma unidad de tiempo la índole especial del trabajo exija.

Conocido el efecto útil de las máquinas se expresará en kilográmetros el trabajo dinámico por las mismas realizado, el cual podrá ser fácilmente reducido á metros cúbicos de agua elevada á cierta altura. Dividiendo luégo la totalidad

del coste del agua elevada por el número de metros cúbicos que ésta mide, se tendrá el precio del metro cúbico.

Aclararemos estas indicaciones generales por medio de un ejemplo.

Supongamos que para un riego de cierta importancia sea necesario recurrir al empleo de una máquina vapor, como auxiliar para la elevacion del agua. Prescindamos por un momento del aparato elevatorio, y supongamos que la máquina de vapor sea de 6 caballos nominales y que se le haga producir un trabajo de 8 caballos de fuerza efectiva.

Los gastos diarios vendrán representados por las cifras siguientes:

	Reales
Interés y amortizacion del capital á que asciende la compra, instalacion y conservacion de la máquina, calculado en 36.000 rs., al 15 por 100 da 5.400 reales, que repartidos entre sesenta dias de trabajo son, por dia de veinte horas.....	90
Dos fogoneros.....	40
Aceite, grasa, etc., para el entretenimiento.....	4
500 kilógramos de carbon.....	80
Coste en veinte horas.....	214

Ahora bien, ocho caballos de vapor á razon de 75 kilográmetros uno, darán en veinte horas $20 \times 8 \times 75 \times 60' \times 60'' = 43.200.000$ kilográmetros, y suponiendo que el aparato de elevacion sólo trasforma en trabajo útil el 55 por 100 del esfuerzo que recibe, queda aquella cifra reducida á 23.760.000 kilográmetros.

Representado este trabajo dinámico por volúmenes de agua elevados á diversas alturas, podemos formar el siguiente cuadro:

Volúmen de agua elevado en 20 horas — *Metros cúbicos*	Altura — *Metros*	Precio del metro cúbico de agua — *Reales*	Precio del riego á razon de 500 metros cúbicos — *Reales*
23.760	1	0,009	4,50
11.880	2	0,018	9,00
7.920	3	0,027	13,50
5.940	4	0,036	18,00
4.752	5	0,045	22,50
3.960	6	0,054	27,00
3.394	7	0,063	31,50
2.974	8	0,072	36,00
2.640	9	0,081	40,50
2.376	10	0,090	45,00

Hemos supuesto, para mayor sencillez en el cálculo, que para un mismo trabajo producido los volúmenes de agua elevados están en razon inversa de las alturas, cuya ley no se verifica sin embargo exactamente en la práctica por la mayor amplitud que adquieren las vibraciones del aparato, y por otras causas que aumentan las resistencias pasivas; de modo que los precios por unidad debian experimentar por dicha circunstancia un pequeño aumento. Dicho se está que para hallar el verdadero coste diario hubiéramos tenido que añadir á los 214 rs. calculados la cifra correspondiente á los gastos de adquisicion, instalacion, etc., del aparato elevatorio, y lo hemos suprimido para evitar mayor complicacion; pero de todos modos, el ejemplo propuesto basta para poner de relieve cómo se determina el coste de la unidad de volúmen de agua elevada á diversas alturas, y la ley aproximada que siguen los precios en virtud de las modificaciones que puedan experimentar los dos factores que entran en la formacion del trabajo dinámico.

TERCERA PARTE

RIEGOS PROPIAMENTE DICHOS

Examinadas ya las cuestiones preliminares que han formado el objeto de la primera parte de este TOMO, y hecho en la segunda el estudio de los medios generales de procurarse el agua, vamos á ocuparnos en esta TERCERA PARTE, de la ejecucion material del riego propiamente dicho, adoptando como criterio para la designacion de los diferentes métodos que se emplean las exigencias de los distintos cultivos. Comprenderemos con la denominacion general de *riegos de los terrenos laborables* todos los que en nuestro país constituyen el cultivo comunmente llamado de *regadío*, y trataremos en seccion aparte los *riegos de los prados naturales permanentes*.

CAPÍTULO XIX

RIEGO DE LOS TERRENOS LABORABLES

Cualesquiera que sean el orígen y la cantidad disponible de las aguas, ya procedan de canales ó acequias derivadas de los rios ó de los arroyos, permitiendo el riego directo ó *á hilo*, ó ya sea preciso, por la insuficiencia del caudal, embalsarlas previamente en depósitos, estanques ó pantanos, dando lugar al riego *por restaño;* ya lleguen las aguas á la parcela regable obedeciendo tan sólo en su movimiento á las

leyes de la gravedad, constituyendo el *riego de pié,* ó ya sea preciso elevarlas por medios mecánicos, supondremos dichas aguas en el período de su curso por una acequia destinada al surtido de una zona constituida por una ó varias parcelas.

Los métodos comunmente empleados en España para el riego de los terrenos laborables los reduciremos á dos tipos principales:

1.° Riego *por submersion ó á manta.*

2.° Riego *por surcos.*

El primer método consiste en extender por toda la superficie regable, dividida en una serie de tablas sensiblemente horizontales y de dimensiones variables, una capa de agua de cierta altura para que sea absorbida ó filtrada por el terreno despues de interrumpida su comunicacion con la cacera de que el agua procede.

El segundo consiste en hacer entrar el agua con el mismo objeto en una serie de divisiones del terreno, en las cuales se han establecido surcos horizontales, ó muy ligeramente inclinados, separados unos de otros por *caballetes* ó prominencias de tierra de dimensiones variables y diversamente espaciadas segun los cultivos.

Estos dos métodos suelen aplicarse simultáneamente en la misma zona, segun sean la topografía del terreno, la naturaleza de los cultivos y la cantidad de agua de que se dispone. El primero exige mayor consumo de agua para la misma superficie regada, conforme hemos tenido ya ocasion de poner en evidencia en el CAPÍTULO III, y su aplicacion se halla más restringida que la del segundo por los accidentes topográficos.

Distribucion de las aguas y parcelacion del terreno. La distribucion inmediata de las aguas por la superficie regable y el fraccionamiento de ésta para el conveniente aprovechamiento de aquellas, se hallan íntimamente relacionados con los accidentes topográficos del terreno. El procedimiento más seguro, si no siempre el más expedito para efectuar dicha distribucion, consiste en formar el res-

pectivo proyecto sobre el plano acotado de la zona regable, representado por curvas de nivel suficientemente próximas, segun los accidentes; de modo que, dando con la aproximacion necesaria el relieve de la superficie, puedan sobre ella señalarse los sistemas distributivo y colector, íntimamente ligados con la division del terreno en tablas de riego.

No es posible dar reglas fijas para la distribucion de las aguas de la acequia destinada al inmediato surtido de la zona, porque para ello hay que tomar en cuenta dos elementos esencialmente variables, que son, la configuracion del terreno y el caudal disponible. Sólo puede decirse en términos generales que debe procurarse que el agua llegue á todas partes sin estancarse en ninguna, recorriendo el menor trayecto conciliable con la pendiente.

Si el terreno tiene poca inclinacion, de la línea principal de conduccion de aguas, que en todos los casos se procura llevar por los puntos más elevados, se hacen partir las caceras en el sentido de la máxima pendiente, las cuales dividirán la superficie en fajas longitudinales que se fraccionan á su vez trasversalmente por medio de otras caceras de segundo órden destinadas al surtido inmediato de las porciones regulares del terreno que limitan. Las aguas sobrantes del riego suelen reunirse en otra cacera inferior, que las devuelve á la misma acequia de conduccion en un punto conveniente de su curso, ó las distribuye directamente para el riego de los terrenos inferiores.

Si las pendientes son ya algo considerables, en lugar de correr las caceras por la máxima pendiente, se llevan en direccion oblícua á las curvas de nivel, y el fraccionamiento del terreno obedece en tal caso á la nueva disposicion adoptada para las líneas distributivas.

Cuando el terreno es muy accidentado, la distribucion de las aguas exigirá, ó un largo desarrollo en las líneas de conduccion, ó el establecimiento de saltos y el consiguiente raccionamiento de la superficie segun una serie de planos escalonados, *bancales* ó *albitanas*.

La formacion del proyecto de distribucion de las aguas sobre el plano acotado de la superficie regable ofrece las ventajas generales siguientes:

1.ª Da mejor idea del conjunto topográfico, evitándose en consecuencia los errores de apreciacion que con tanta frecuencia se cometen cuando se trata, por ejemplo, de determinar por aforo la diferencia de nivel entre dos puntos separados por una depresion del terreno.

2.ª Evita tanteos costosos y permite la eleccion más conveniente entre los diferentes proyectos que con facilidad se trazan y corrigen sobre el papel.

3.ª Permite formar juicio del movimiento necesario de tierras, tanto para la apertura de las caceras como para la preparacion del terreno inmediatamente destinado al riego.

Una vez fijado el plan general de distribucion de las aguas entre las distintas parcelas, se dividen éstas en porciones de forma regular, generalmente cuadrilátera para la mayor comodidad de las labores, de longitud variable y de un ancho que no suele pasar de 30 metros en los terrenos de pendientes más suaves. Estas divisiones suelen estar separadas unas de otras por una derivacion de la cacera, que se designa, segun las localidades, con los nombres de *reguera*, *regata*, ó *sangrero*, destinada al surtido de las pequeñas superficies que constituyen el último grado de division del terreno regable.

Cuando los terrenos afectan poca pendiente, á la serie de superficies que se riegan con las aguas de la misma cacera de primer órden, ó derivada de la acequia madre, se la suele designar, segun las localidades, con los nombres de *heredad*, *heredamiento*, *pago* ó *partida;* cada heredad se divide trasversalmente á la pendiente general del terreno en una serie de trozos regulares, llamamos *cuarteles*, *tajones* ó *canteros*, los cuales se surten de la misma regata ó acequia secundaria; los cuarteles están separados unos de otros por caballetes de tierra de dimensiones mayores que las ordinarias, y se dividen á su vez en porciones pequeñas, llamadas *vesanas* en la

vega del Tajuña y *eras* en el resto de Castilla, las cuales vienen á formar el último grado de division del terreno regable. Las eras están formadas por superficies planas y sensiblemente horizontales cuando el riego se da á manta, ó por una serie de surcos de muy escasa pendiente, separada de la inmediata por una prominencia de tierra llamada *macho, camellon, caballon* ó *caballete,* cuando se adopta el método de riego correspondiente.

Cuando el terreno ofrece ya pendientes más considerables, la superficie regable se dispone en gradería, y los escalones que la forman reciben el nombre de *albitanas* y comunmente el de *bancales* (en catalan *feixas*), hallándose separados unos de otros, segun sea menor ó mayor la pendiente, por meros caballetes de tierra, por los taludes naturales del terreno ó por muros de piedra en seco que se designan con el nombre de *paradas* en Valencia, con el de *albarradas* en Castilla y con el de *valates* en Andalucía. Claro es que estando formados los bancales por superficies próximamente horizontales, deberán ser tanto más estrechos cuanto mayor sea la pendiente del terreno.

El último grado de division de la parcela regable afecta dimensiones que dependen de la configuracion del terreno, de su naturaleza más ó ménos permeable, de la distribucion y exigencias de los distintos cultivos, y de la cantidad de agua con que se riega. Cuando el riego se hace á manta, esas superficies son generalmente *pequeñas*, á fin de que el agua no tenga que recorrer un largo trayecto para llegar al extremo de la era y pueda ser uniformemente absorbida; *planas*, para que se extienda el agua por igual sobre toda la era, y sensiblemente *horizontales*, á fin de que la capa líquida que en ellas se deja tenga en todas partes un espesor uniforme. Si el terreno es plano y poco permeable, podrá darse mayor extension á las eras sin necesidad de aumentar en la misma medida el caudal con que se riega; si el terreno es muy permeable, ó habrá que disminuir la superficie de la era, ó que aumentar el volúmen del agua, á fin de que en breve tiempo

se extienda ésta por todo el espacio que aquella limita, y deje mojada una capa de tierra de espesor uniforme.

Si el riego se hace por surcos, podrá llegarse, en terrenos de mucha pendiente hasta el límite inferior de la extension de las eras, porque en último resultado, cada surco, aisladamente considerado, constituye un escalon horizontal de unos 40 centímetros de ancho, separado del siguiente por un caballete de tierra de dimensiones próximamente iguales.

La distribucion de los surcos en cada una de las eras es susceptible de una porcion de combinaciones, siendo la más comun en la práctica la llamada *de caracol*, indicada en la figura 99, que representa cuatro eras alimentadas por una

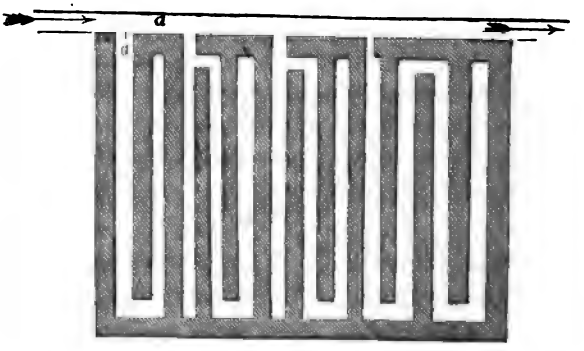


Fig. 99.

regata en direccion normal á los surcos. Cuando por efecto de la inclinacion del terreno no pueda hallarse dispuesta en el sentido de la máxima pendiente, claro es que los surcos deberán abrirse oblícuamente á la direccion de aquélla para que den sensiblemente una línea de nivel, ó en todo caso una línea suavemente inclinada que facilite el acceso del agua á toda su longitud.

Modo de regar. La cantidad de agua directamente aplicada al riego de una cierta superficie hemos dicho ya que era variable. Un caudal pequeño que tuviera que recorrer un largo trayecto ántes de llegar á la superficie regable, po-

dria anularse por filtraciones y pérdidas de todas clases ántes de llegar á la parcela, lo cual explica la práctica adoptada en los campos de Lorca de *jaricar ó componer riega*, segun la frase local, cuya operacion consiste en reunir en un mismo caz las hilas adquiridas en subasta por los varios propietarios de la misma zona para regar cada uno con las aguas de todos, distribuyendo el tiempo de duracion del riego en proporcion al número de hilas que cada uno ha llevado al caudal comun. Un gran caudal conducido por una cacera que tuviese una pendiente considerable, produciria en ésta y en el terreno regable erosiones perjudiciales. Habrá, por lo tanto, un volúmen medio con el cual pueda efectuarse el riego en buenas condiciones.

Partiendo del caudal que un buen regador pueda guiar fácilmente con la azada, puede fijarse como *máximo* volúmen en la *reguera* el tipo de *18 á 20 litros* por segundo, y como *mínimo* un volúmen de *2 á 3 litros* en el mismo tiempo. Con volúmenes menores que este último, el agua tardaria mucho tiempo en llegar al extremo de la era, dejando desigualmente impregnado su fondo; y con volúmenes mayores que el citado como máximo habria necesidad de dejar abiertas simultáneamente varias eras, no bastando en general un solo hombre para interrumpir la comunicacion de la era con la regata y establecerla al mismo tiempo con las siguientes, quedando en consecuencia perjudicadas por un riego excesivo unas eras, miéntras que las aguas de la regata, sin aprovecharse debidamente en las sucesivas, correrian inútilmente á buscar la cacera colectora ó de desagüe.

Cuando la era recibe toda el agua que trascurre por la regata, abre el regador con la azada un boquete *a'* (fig. 99), en el caballon de recinto, y colocando la tierra en *a* intercepta la corriente hasta que, introducida en el terreno la cantidad de agua que considera suficiente, vuelve la tierra separada á su posicion primitiva. Se designa en Castilla con el nombre de *torna* el pequeño dique de tierra con que se intercepta el curso de las aguas para el riego de las eras. Si

el caudal que lleva la regata es mayor que el necesario para el surtido de una sola era, se dejan abiertos varios boquetes, colocando la tierra dentro de la era respectiva, y se cierran unos y se abren otros á medida que las necesidades lo exigen.

Es evidente que el procedimiento que acabamos de indicar para una regata destinada al surtido de varias eras puede aplicarse á la distribucion de las aguas entre las varias regatas que se surten de la misma cacera, ó á las distintas caceras derivadas de la misma acequia madre. Si la cacera lleva mayor cantidad de agua que la necesaria para el surtido de una sola regata, se dejan abiertas varias consecutivas que en conjunto se distribuyan todo el caudal, efectuándose de una manera análoga la distribucion de las aguas de la acequia entre las distintas caceras.

Así como para establecer é interrumpir la comunicacion de las eras con las regatas bastará, en general, separar la tierra con la azada, formando con aquélla el dique que corte la corriente, cuando sean mayores los volúmenes que haya que distribuir y mayores tambien las secciones de las líneas de conduccion, será preciso recurrir al uso de compuertas ó diques de tablas, que exigirán una pequeña construccion en el punto de toma; ó bien, si los caudales lo permiten, podrán pasarse sin ella, reduciéndose el dique á unas planchas de palastro suficientemente resistentes, cuyo corte se introduzca por presion ó á golpe en la cacera y puedan fácilmente levantarse, sirviendo de palanca el mango de la azada introducido en un anillo situado en el reborde superior de la pequeña compuerta metálica.

Cuando el riego se efectúa por superficies escalonadas ó bancales, el agua cae por uno de los extremos del muro, en cuyo punto deberán adoptarse las precauciones convenientes para disminuir el efecto de los choques y de las erosiones; sigue luégo por el pié del muro en toda su longitud, distribuyéndose por las distintas eras que forman el bancal, y una vez regado todo él, vuelve á caer por el extremo opuesto

para dar lugar á operaciones y fenómenos análogos en el bancal siguiente.

La cacera colectora que suele disponerse para recoger las aguas sobrantes del riego de cada uno de los cuarteles, cuando se emplean los métodos de que más adelante nos ocuparemos, no se usa generalmente en los riegos más comunes en nuestro país, y para suplir su falta se procura que no éntre en las eras mayor cantidad de agua que la respectivamente necesaria; y en la práctica de los riegos se observa con frecuencia que el regador corta las aguas de la acequia ántes de tener regadas todas las eras en el momento oportuno para que las *escorrentías* vengan á surtir una ó más eras, segun la distancia á que se hizo el corte. Sirve de estímulo para la supresion de la cacera colectora el aprovechamiento de mayor superficie útil, y disminuyen los inconvenientes de dicha supresion la escasez frecuente de las aguas, la necesidad de que éstas alcancen á la mayor superficie posible, y la de evitar los perjuicios que pudiera ocasionar el embalse producido en algunas eras por un riego excesivo.

Como estudio complementario de los riegos de las tierras laborables, entraremos en algunos detalles de aplicacion de los métodos indicados á los principales cultivos, ampliando algun tanto las noticias que con motivo de la determinacion de la cantidad de agua necesaria para el riego hemos tenido que adelantar en el CAPÍTULO III.

Riego de los cereales. Los cereales pueden comprenderse en el número de aquellas plantas que ofrecen poco desarrollo foliáceo y una traspiracion relativamente pequeña, y que por consiguiente no exigen para vegetar en buenas condiciones una gran cantidad de agua, áun tratándose de las localidades de nuestro país en que el calor es más intenso.

El riego á manta se practica raras veces, y en tal caso se dispone el terreno segun planos horizontales, tanto más estrechos cuanto mayor es la pendiente, limitados por caballones de la magnitud ordinaria.

Suele darse á los cereales de invierno riegos poco copiosos, y se practican haciendo correr el agua por los mismos surcos que dejó el arado. Si la falta de lluvias otoñales lo exige, se da un riego al terreno en Octubre ó Noviembre, ántes de la sementera, con el objeto de facilitar las labores, y bastan en general para asegurar la cosecha en nuestro país un riego despues de la siembra, otro en Marzo y otro en Abril. Cuando el año va muy seco, se da otro riego poco abundante ántes de la granazon. El trigo requiere abonos ricos en ázoe, á fin de que favorezcan la formacion del gluten, del que depende principalmente el valor del producto.

El maíz es más exigente que el trigo en materia de riegos, y suele ser compañero inseparable de éste en las tierras de huerta de nuestro país. Ordinariamente se le siembra así que se levanta la cosecha del trigo, y suele recorrer todas las fases de la vegetacion en un período poco mayor de tres meses. En las tierras que han estado de barbecho se le siembra en Mayo y se le riega inmediatamente despues. Al mes ó poco ménos de efectuada la siembra se da una labor al terreno y se forman caballones, dejando la planta en los bordes del caballon, con objeto de que, quedando debidamente calzada, encuentren las raíces mayor porosidad y frescura, y conservándose ésta por más tiempo no haya necesidad de riegos tan frecuentes. A los veinte ó veintiun dias de calzada la planta se la vuelve á regar, dándole luégo el agua á intervalos de ocho á quince dias, segun las circunstancias de terreno y clima. Si la planta se dejara en medio del surco, sentiria con mayor viveza los efectos de la desecacion y endurecimiento del suelo, y habria, por consiguiente, que regarla con mayor frecuencia. El número de los riegos necesarios al cultivo del maíz varía entre cuatro y ocho segun los terrenos. Dicho se está que en los detalles de este cultivo no podemos referirnos á la zona cantábrica, cuya humedad excepcional permite obtenerlo de secano.

El maíz cortado en verde constituye un excelente forraje, que ofrece la considerable ventaja de suministrar

alimento fresco al ganado mayor durante los meses de la estacion calurosa, y durante todo el año si ha sido convenientemente ensilado. Cultivado el maíz como forraje, exige un terreno constantemente fresco y riegos más frecuentes que el destinado á la produccion de grano.

Riego de las judías. La judía se cultiva sola ó asociada al maíz. Las variedades tempranas se siembran en la costa del Mediterráneo en Marzo ó Abril, y hasta en Febrero en los puntos en que no son de temer los efectos de las heladas. La siembra se hace á golpe, dejando el grano á una profundidad de dos ó tres dedos solamente para que no se pudra. La actividad de la germinacion depende de la temperatura: generalmente los granos que se siembran en Marzo en la costa de Valencia y Alicante tardan tres semanas en nacer, en cuyo momento se les suele dar un riego que no se repite ya hasta que llega la época de la florescencia. Las variedades de enrame se suelen sembrar al tresbolillo; al lado de cada golpe de 3 ó 4 matas, llegada la época oportuna se fija una caña que ha de servir á las plantas de tutor, y, atadas las cañas de tres en tres por el extremo, forman lo que en Alicante se llama una *barraca*, destinada á proteger las plantas contra la accion de los vientos. La periodicidad de los riegos, ó los *adores*, suele ser de quince dias.

Cuando la judía va asociada al maíz, se suele sembrar al mismo tiempo que éste, cuyas cañas ó tallos hacen el oficio de tutores. Se siembran en Junio y se recolectan en Setiembre ú Octubre, exigiendo riegos frecuentes y poco copiosos para que no se pierda la planta con el embalse prolongado del terreno.

En la costa de Alicante las variedades tardías se siembran á últimos de Julio; tardan sólo tres ó cuatro dias en nacer; á los quince dias se forman los caballones, y se riegan luégo una vez por semana, recolectándose el grano en Octubre ó Noviembre, cuando la planta ha recorrido todas las fases de su vegetacion.

Las leguminosas toman en general la mayor parte de sus

elementos de la atmósfera y pocos del suelo, por cuya razon se las considera como plantas reparadoras. Las judías son, sin embargo, una notable excepcion de esta regla: esquilman mucho la tierra, requieren mucho abono, como si pertenecieran al grupo de los cereales; en cambio no hay cereal que iguale á la judía en principios sanguificables.

Riegos del cáñamo. Dijimos en el CAPÍTULO III, que en la huerta de Valencia y en los llanos de Barcelona se siembra el cáñamo á mediados de Marzo y se siega hacia la mitad de Julio, recibiendo durante este período cuatro riegos abundantes. En las vegas del Besós se disponen los cañamares en tablas horizontales de unos 2 metros de ancho por 30 ó 40 de longitud, separadas unas de otras por caballones terminados por una superficie plana, que sirven á la vez de dique y de vía de comunicacion para las diversas operaciones del cultivo. El riego se da á manta y se procura que el suelo conserve un estado constante de frescura. El cáñamo que se cultiva para simiente se siega en Setiembre; pero en tal caso la fibra pierde en calidad, de modo que siendo ocho duros el precio medio del quintal de cáñamo segado en flor, sólo se pagan siete y medio por el que se ha destinado á fruto.

Riegos del lino. En la vega del Jalon se siembra el lino á principios de Abril despues de haber dado á la tierra tres rejas, una en Setiembre, cuando ha estado de barbecho, otra á principios de Marzo, y la tercera, preparatoria para la siembra, á los primeros dias de Abril. Hecha la siembra á voleo, se da una vuelta de arado para enterrar la semilla y se hacen los caballetes para el riego. A los diez ó doce dias nace la planta y se le suele dar poco despues un riego, continuándose luégo los riegos por períodos de ocho dias, segun los tiempos. El riego de la escarda suele dársele á la planta cuando tiene próximamente un pié de alto. Se arranca ordinariamente en Agosto.

Riego de las patatas. En las provincias del centro de España suele empezar el riego de las patatas por San Juan,

repitiéndose luégo en períodos de diez y siete á veinte dias, hasta que en Setiembre empiezan las lluvias de otoño; de modo que, por término medio, suelen darse cuatro riegos.

Riegos de la alfalfa. A lo que llevamos expuesto en la página 54 acerca de la cantidad de agua necesaria para el riego de esta planta, añadiremos ahora que en la vega central del Ebro siembran la alfalfa á principios de Abril, empleándose tres libras de simiente por cada cuartal de tierra (258,52 metros cuadrados). Inmediatamente despues de la siembra se da el primer riego, otro á los seis dias, si el tiempo va seco, ó ántes si el terreno no conserva la humedad necesaria, para que no perezca la nueva raíz, que entónces empieza á formarse, apareciendo la plantita á los ocho dias de practicada la siembra. Vuelve á regarse á los ocho ó diez dias, y hallándose ya arraigada la planta y cubierto el terreno, conserva éste por más tiempo la humedad, no necesitando ya riegos más que de veinte en veinte dias, ó más frecuentes si por la sequedad del ambiente ó por la excesiva permeabilidad del suelo se hiciesen necesarios.

Cuando la planta adquiere $0^{m},40$ de altura, debe cortarse ó guadañarse, porque con ella crecen otras muchas yerbas que desaparecen en gran parte al segundo brote. Desde el segundo corte en adelante se espera para la siega á que la planta empiece á florecer, porque, cortada ántes, contendria mucha agua y no estando bien elaborados los jugos, no serian de tanta sustancia y alimento. En las inmediaciones de Zaragoza duran los prados de alfalfa de nueve á diez años. En lo que labra al dia á surco junto ó espeso un par de caballerías, que llaman *cahíz* (0,4136 hectáreas), se obtienen sesenta y cuatro cargas de á diez arrobas de alfalfa seca como producto de los seis cortes que anualmente se dan á la planta; el primero produce ocho cargas, doce cada uno de los cuatro cortes siguientes y ocho el último; de modo que en un cahíz puede mantenerse todo el año un par de reses mayores.

Riegos del cacahuete ó maní. Al ocuparnos en el CAPÍTULO III de la cantidad de agua necesaria para el riego en

los diversos cultivos, dijimos, refiriéndonos al cacahuete, que solia darse un riego al terreno poco ántes de verificarse la siembra, y que luégo solia ser de diez dias el tandeo, resultando unos diez y ocho riegos durante el período de la vegetacion de Abril á Octubre. En terrenos ligeros se riega el cacahuete á surcos estrechos á fin de que, empapándose los pequeños caballones, resulte el agua aprovechada como si el riego se hiciese á manta.

No creemos fuera de lugar el exponer algunos detalles relativos al cultivo del maní, tal como se practica en la ribera del Júcar, y apuntar algunas noticias sobre la elaboracion del aceite de cacahuete, noticias que hemos recogido en las mismas fábricas establecidas en Valencia.

Cultivo del cacahuete. El cultivo del cacahuete, tal como lo hemos visto practicado en la ribera del Júcar desde Cullera á Antella, se reduce á lo siguiente: por Navidad ó á principios de año se da al suelo una cava profunda que cuesta unos 100 rs. por hanegada. Se deja la tierra expuesta á la accion de la atmósfera durante los meses de Enero, Febrero y Marzo. En Abril, si no llueve, se riega la tierra, y á fines de mes ó á principios de Mayo se siembra el cacahuete bastante espaciado, distribuyéndose tres arrobas de guano por hanegada. Se dan á la planta un par de escardas, ó más si fuese necesario, y se calza convenientemente. Cuando las matas han tomado algun vuelo extienden el ramaje, que cubre por completo la superficie, y ahoga las malas yerbas. En Octubre, época en que el fruto está en sazon, se arrancan las matas, y en el mismo sitio se dejan expuestas al sol cinco ó seis dias; se sacuden, se limpian y se hace caer el fruto sobre un palo horizontal ó sobre una tabla puesta de canto. El fruto se deja solear en las eras tres ó cuatro dias y luégo se lleva al granero, en donde hay que traspalarlo de vez en cuando para que no se enrancie. Lo más que se suele guardar es de un año para otro.

El cultivo del cacahuete es muy productivo, si se atiende á la calidad de las tierras que se le destina. Suele dar como

máximo 60 barchillas (10,05 hectólitros) de fruto por hanegada, ó 120,6 hectólitros por hectárea. La produccion media suele ser de 42 barchillas por hanegada, ó sea 84,3 hectólitros por hectárea. A esta produccion media en grano corresponden por hanegada 80 ó 100 haces de yerba que suministra la mata, los cuales se venden á 25 ó 30 rs. el centenar; de modo que, calculando á razon de 100 reales las 12 barchillas de cacahuete, resultan unos 370 rs. de producto bruto medio por hanegada; y descontando 200 reales que importan ordinariamente los gastos de produccion, viene á ser de 170 rs. por hanegada, ó de 2.040 rs. por hectárea el producto líquido obtenido con este cultivo.

Los principales centros de produccion del cacahuete en la ribera del Júcar son Algemesí y Alginet. Se calcula en 130.000 cahíces (261.361 hectólitros) la produccion anual del cacahuete sólo en ambos pueblos, y contando el cahíz á cinco duros por término medio resulta un producto bruto de 650.000 duros.

La barchilla de cacahuete pesa por término medio 18 libras valencianas de á 12 onzas, y al hectólitro corresponde, segun esta proporcion, un peso de 38,16 kilógramos.

Aceite de cacahuete. Para la extracion del aceite se muele primero el grano por medio de muelas verticales, é introducida luégo la pasta en esportillas se pasa á la prensa hidráulica. En las fábricas de Valencia no se suele prensar el cacahuete más que una vez; en las de Marsella suelen prensarlo dos veces, y utilizan el procedente de la costa de Africa y de la India, que reciben ya descascarado y casi siempre enranciado.

De 6 arrobas de á 36 libras valencianas de cacahuete, ó sea de 12 barchillas, se extraen 60 libras de aceite, cuyos tipos reducidos á medidas métricas dan 10.594 gramos de aceite por hectólitro de cacahuete, ó 0,276 kilógramos de aceite por cada kilógramo de grano.

El precio del aceite de cacahuete es de 40 á 50 rs. la arroba de 10,65 kilógramos. En las fábricas de Valencia se

elabora este líquido con mucho esmero y se vende para comer y para perfumería. El aceite francés se emplea en perfumería, en la fabricacion de jabon, en el alumbrado, etc., y no se usa para comer porque, como hemos dicho anteriormente, el grano llega siempre á la fábrica más ó ménos enranciado.

La pasta que se obtiene del prensado se vende en Valencia á 6 ú 8 rs. arroba para cebar el ganado de cerda, áun cuando se asegura que comunica dicho alimento un sabor desagradable á la carne.

Riego de los naranjos. De la observacion directa hecha en los naranjales de Alcira y Carcagente hemos deducido que el volúmen medio de agua que corresponde á cada riego es de 45 metros cúbicos por hanegada ó de 540 por hectárea. Como en dichos naranjales se utiliza el agua elevada por medios mecánicos, en general desde profundidades muy considerables, se procura evitar toda pérdida, y á este fin se dispone el terreno como se indica en la figura 100 ad-

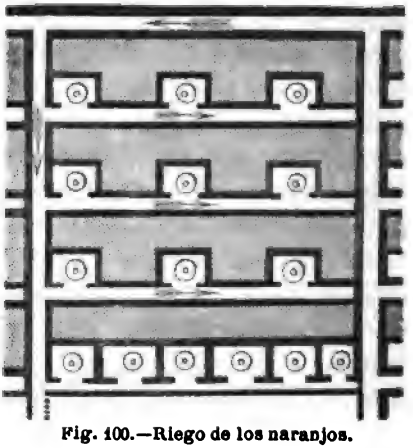


Fig. 100.—Riego de los naranjos.

junta, que hemos tomado del natural. Alrededor de cada naranjo se forma una pequeña era cuadrada en la que se embalsa el agua, quedando sin regar el espacio intermedio que en la figura aparece rayado. En algunos casos, en esos espa-

cios se siembra cacahuete, verificándose entónces el riego por surcos, independientemente del que se da á los naranjos. En la figura 100 adjunta aparecen más espesos los naranjos en la primera fila, porque se supone que esta fila limita la finca y forma una especie de seto vivo. La disposicion de la acequia y de las regaderas ó regatas creemos que queda suficientemente indicada tal como se representa en la figura, y omitiremos por lo mismo todo detalle.

Ya hemos dicho en otra ocasion que la temporada de riegos suele empezar á principios de Mayo y terminar á fines de Setiembre.

En el precioso huerto naranjal que nuestro buen amigo D. Antonio Feijas posee en término de Alcira medimos la cantidad de agua que se destinaba al riego de la hanegada de tierra y encontramos que era de 33 metros cúbicos, ó sea de 396 por hectárea, á pesar de ser la tierra arenisca roja bastante permeable. Hay que advertir, sin embargo, que elevándose el agua de una profundidad de 30 metros por medio de bombas movidas por una máquina de vapor, se procura evitar toda pérdida, á cuyo fin las caceras de riego se han construido de fábrica, dejando boqueras en los puntos de orígen de las regatas.

Medida por observacion directa el agua recogida en el estanque, encontramos que la bomba sacaba 7,729 litros por segundo de tiempo, ó sea próximamente 480 litros por minuto.

Siendo, como hemos dicho, de 30 metros la profundidad del agua, resulta un trabajo efectivo de 3,08 caballos. Calculando que la bomba aprovecha el 60 por 100 y la máquina de vapor el 75, resulta que el trabajo efectivo de la máquina es de 4,87 caballos. La máquina de vapor era semifija, vertical, de 2 caballos nominales de fuerza y 5 efectivos, fabricada, lo mismo que las bombas, en la casa Alexandre, de Barcelona. Llevaba la máquina marcha forzada, dando 110 emboladas por minuto, siendo de 90 emboladas la marcha normal.

El manantial que surte la bomba se halla en la caliza cretácea al pié de la sierra de las Agujas.

	Reales
El coste de la máquina con la caldera fué de..	19.000
— las bombas y trasmisiones.....	7.000
— tubería.....	2.800
TOTAL.....	28.800
Trasporte y gastos de instalacion.....	11.200
TOTAL GENERAL.....	40.000

Datos sobre el cultivo del naranjo en la ribera del Júcar. La mayor parte de los naranjos de la ribera del Júcar proceden de ingerto sobre pié de cidro. Las estacas de cidro prenden con facilidad, reciben bien el ingerto, y á los cinco años fructifican. El naranjo ingerto sobre cidro se hiela, sin embargo, con bastante facilidad y está propenso á toda suerte de enfermedades. El ingerto más usado es el de escudete, que se practica en Mayo. Viniendo el naranjo de pepita sembrada en almáciga, se atrasa dos ó tres años; pero resulta en cambio el arbolado más robusto.

Los naranjos comunes florecen en la ribera en Marzo ó Abril, y luégo se presentan las naranjitas, que en Diciembre, si no están maduras, toman color. No suelen estar bien sazonadas hasta entre Pascuas. Algunos piés robustos, y los que han cargado poco de fruto en la última cosecha, dan segunda flor en Setiembre, de la que resulta la naranja llamada del *repom*, que principia á madurar en Julio y Agosto.

En Alcira y Carcagente los naranjos están plantados á 30 palmos de distancia unos de otros, formando cuadrado, resultando 20 ó 21 por hanegada, ó 240 ó 250 por hectárea.

Las plantaciones de naranjos dan fruto al año siguiente; pero se suele arrancar la flor hasta llegar al cuarto año, en cuya época el término medio de la produccion por árbol en buen terreno es de una arroba (11,5 kilógramos), y á los diez

años el término medio es de diez arrobas ó sea de 2.400 á 2.500 arrobas por hectárea. Se cita como caso extraordinario y verdaderamente notable de produccion, la de *un solo árbol* de un huerto de Carcagente, de la propiedad del señor Marqués de Montortal, que en el año de 1878 dió *ciento diez arrobas de naranja.*

Por Navidad empieza la exportacion de la naranja, pagándose ordinariamente en Alcira y Carcagente á 4 rs. arroba: suele subir más tarde hasta 8 rs. arroba, y áun en algunos casos llega á 16 reales.

Se calcula que en 150 kilógramos entran unas mil naranjas. Dando un árbol con otro 115 kilógramos de fruto, resultan 28.750 kilógramos de naranja por hectárea, que á 50 reales cada 150 kilógramos, ó sea el millar, importan 9.583 reales de producto por hectárea. Si un naranjo comun da 700 naranjas, un mandarin dará 1.000.

El precio medio en venta de los naranjales de Alcira y Carcagente, que son los mejores de la huerta de Valencia, es de 6 á 8.000 rs. por hanegada, ó de 72 á 96.000 rs. la hectárea. La hanegada de los mejores naranjales llega á pagarse á 10.000 rs., ó sea al precio enorme de *seis mil duros la hectárea.*

Riegos de la caña dulce. El cultivo de la caña de azúcar no es de los que más agua necesitan; pero la requiere en cambio oportuna y cuidadosamente distribuida. Recien hecha la plantacion, debe regarse una ó dos veces, segun el tiempo se presente y segun la permeabilidad del suelo. Despues de arraigada la planta, ella misma indica la necesidad del agua, que se conoce por la rigidez que presentan las hojas, las cuales, en vez de inclinarse suavemente arqueadas, se enderezan y aguzan, tomando el aspecto de pequeñas pitas. El agua salobre se ha considerado siempre como contraria á este cultivo; sin embargo, cuando no lo es en demasía y las sales disueltas son algo nitrosas, puede convenirle y áun con preferencia á otras, como sucede con las del Guadalhorce, que se utilizan en el riego de los cañaverales de

la costa de Málaga. A juicio del Sr. Casado, de cuya *Memoria sobre el cultivo de la caña dulce* tomamos estas noticias, es una precaucion sumamente útil preparar bien los riegos, cortando convenientemente la tierra despues de haberla nivelado, y estableciendo madres ó surcos anchos y capaces, áun cuando el agua no sea muy abundante, con el objeto de evitar roturas y escapes. Si despues de un riego se advirtiese estancamiento en algun punto, deberá darse salida al agua lo más pronto posible y desecar bien el terreno.

A medida que la planta va creciendo, se hace el riego ménos necesario por la sombra que la misma hoja da al tallo durante la época de los fuertes calores, que es la del crecimiento. Llegadas las primeras lluvias de otoño, la práctica más constante en las costas de Málaga y Granada consiste en la suspension del riego, ya por temor al ahilamiento que suele producir el exceso de humedad, ya por la dificultad de penetrar en la plantacion para dirigir el agua cuando las cañas están crecidas. Esto no obstante, puede convenir seguir regando por circunstancias especiales de atraso ú otras, en cuyo caso se atenderá al signo característico, representado, como ántes hemos dicho, por el aguzamiento de las hojas.

En la vega de Málaga, un riego copioso á intervalos de diez y siete dias apenas es suficiente en los primeros meses, áun contando con un subsuelo arcilloso. La caña toma tanto más cuerpo, cuanto más se prolonga la estacion de los calores, á condicion de que pueda regarse frecuentemente. Durante el otoño y principio del invierno engruesa algo y va tomando dulce; poco á poco la hoja se va secando, y conviene no confundir el aspecto con que se principia á señalar este período con la necesidad de riego que los mismos signos indican en otra época.

Extension del cultivo de la caña de azúcar en el Mediodía de España. La zona de cultivo de la caña dulce en el Mediodía de España alcanza tan sólo una faja de terreno, entre Adra y San Roque, de 200 kilómetros de

longitud por 3 de ancho, cuya superficie, eliminados los terrenos improductivos, se reduce á unas 40.000 hectáreas. Contando con el máximo rendimiento de las actuales grandes plantaciones de la costa de Málaga, el cual no pasa de 3.000 arrobas por hectárea, podrá obtenerse, con la mejora del cultivo, una produccion anual de 120 millones de arrobas, cuyo 8 por 100, 9.600.000 arrobas de azúcar, apenas bastará dentro de pocos años para el consumo de España si, como hasta aquí, continúa en progreso, puesto que se calculaba dicho consumo en cinco millones de arrobas hace diez años y hoy con seguridad pasa de siete.

Industria azucarera en el Mediodía de España. El estado actual y la importancia que en el dia tiene la industria azucarera en las costas meridionales de España se resume en el siguiente cuadro, en que aparecen las fábricas existentes, su fecha y las de instalacion, y las arrobas de caña que por término medio suelen elaborar cada año.

SITUACION DE LAS FÁBRICAS	DUEÑOS	Arrobas de caña elaborada anualmente	Época de su fundacion
Torre del Mar.....	Martin Larios é hijos, de Málaga..... ...	400.000	1847
Almuñécar.....	Sociedad Azucarera Peninsular, de Madrid...	300.000	1850
Nerja.....	Martin Larios é hijos, de Málaga.....	250.000	1850
Torrox.....	Idem, id.....	200.000	1851
Motril	Idem id...	2.000.000	1855
Málaga.....	Martin Heredia é hijos, de idem	1.000.000	1860
Almuñécar..	Sres. Marquez, de Almuñécar..	250.000	1860
Salobreña.....	Sres. Agrela hermanos, de Granada.....	1.200.000	1862
Málaga.	Viuda de Portal, y Compañía, de Málaga.....	1.000.000	1864
Salobreña	Sociedad Azucarera Peninsular, de Madrid ..	1.000.000	1865
Adra..	Sres. Castell hermanos, de Málaga.....	600.000	1866
S. Pedro Alcántara	Sres. Gándara y Cuadra, de idem	500.000	1867
Estepona.....	Ortiz García y Martinez, de idem	400.000	1867
Salobreña	Juan Ramon Lachica, de Granada.....	1.200.000	1869
Almuñécar	Sres. Torrens, de Almuñécar	500.000	1870
Málaga.....	Guillermo Huelin é hijos, de Málaga	600 000	1871
		11.400.000	

Arrozales. El riego de los arrozales constituye un caso particular del método que hemos llamado por submersion, por cuyo motivo, y por la importancia que ha adquirido en algunas localidades de España, merece que le dediquemos algun espacio.

El arroz *(Oryza sativa, L.)* es una gramínea sumamente rica en variedades, de las cuales sólo se cultivan en España algunas acuáticas. En las riberas del Júcar y de sus afluen-

tes de la region inferior, en las cuales ocupa este cultivo una superficie de 23.384 hectáreas, son muy comunes el arroz llamado *más frio*, notable por su excelente calidad; el *tranquillon*, por lo productivo, y el *moscado* por su vigor en resistir las variaciones atmosféricas en la época de la granazon.

En la cuenca del citado rio y en las inmediaciones de la Albufera de Valencia es una rareza que el arroz se siembre de asiento; así es que primero se siembra en almácigas y luégo se trasplanta, obteniéndose por este medio las ventajas siguientes: se anticipa la cosecha, poniéndola á cubierto de los fuertes vientos, granizos, inundaciones y otros contratiempos que á menudo ocurren á principios de otoño; se practica mejor la escarda; las espigas son mayores; la fructificacion marcha bien, y el grano es bueno y abundante.

Hay *acotamientos*, ó sitios demarcados por la Administracion, para plantel y los hay para arrozales. Las tierras destinadas á almácigas deben tener riego abundante, ser de mucho fondo, estar libres de filtraciones que perjudiquen á las circunvecinas y hallarse algo distantes de las poblaciones.

Preparacion y entretenimiento de las almácigas. Las tierras de huerta que se destinan á almácigas se preparan dándolas un par de rejas despues de levantado el trigo, y sucesivamente otras, de modo que en Setiembre se le hayan dado media docena de vueltas. Se abona el campo y se siembra de habas cuando no haya que temer una humedad excesiva, que es sabido perjudica á este cultivo preparatorio; se riegan dos ó tres veces, si no llueve; en Febrero ó Marzo se siegan en verde para abono; se dan en seguida tres rejas en seco y cuatro en agua, y finalmente se siembra el arroz á voleo.

Para los planteles se elige la semilla de las variedades más estimadas y de las plantas que tuvieron mejores medros, y el plantel se cubre con una ligera capa de agua. A los veinte dias de la siembra se deja en seco, con el doble

objeto de que las plantitas arraiguen bien y con el de matar las *tortugas. (Apus cancriformis? Nepa cinerea?)* Conseguido esto se vuelve á inundar el suelo con la menor cantidad posible de agua, con lo cual las matitas ahijan mejor y parecen reanimarse con la accion que la atmósfera ejerce sobre sus hojas. En los planteles bien abonados hay matas procedentes de un grano que arrojan veinte cañas; pero cuando la planta no amacolla bien, pueden necesitarse hasta seis ú ocho granos para formar una mata.

Generalmente no hace falta escardar las plantitas cuando está muy bien preparada la tierra. En el mes de Mayo ó á principios de Junio se verifica el trasplante, cuidando de no maltratar las raíces en el arranque, y con las matitas se forman hacecillos que se atan con esparto ó juncos.

Plantacion. La plantacion se hace á tresbolillo, y en ella no se invierte más tiempo que en el arranque de las plantitas; se emplean unos 60 haces de plantel por *hanegada* (720 por hectárea), y cada haz tiene planta para 60 ó 70 golpes. Con una hanegada de plantel se cubren de 12 á 16 hanegadas de arrozal (1).

El arroz, despues de trasplantado, necesita una capa de agua de $0^{m},20$ de altura durante ocho dias para que no se resequen las matas. Pasados veinte dias de la plantacion se echa cal al campo para matar el *borró* ó *asprella (Chara vulgaris, L.)*, y se escarda si hay juncia ú otras malas yerbas.

Dejando para luégo el detalle sobre el riego de los arrozales, terminaremos estos apuntes sobre el cultivo del arroz, que tomamos de la *Memoria sobre las inundaciones del Júcar en* 1864, diciendo que el arroz temprano sazona en dicha region á mediados de Agosto, en cuya época suele principiar la siega. En las tierras altas de la ribera de dicho rio, para segar el arroz se desaguan ántes los campos; los haces se atan junto á las espigas, y las gavillas no son conducidas por entero á las eras, sino que se corta la parte que está por

(1) Una hanegada viene á ser la dozava parte de una hectárea.

debajo de la ligadura, cuya operacion se designa con la frase de *desbarbar el arroz.*

Se calcula que cada hanegada de arrozal de la cuenca del Júcar necesita por término medio un quintal de guano, que cuesta unos 70 rs. Bajo este supuesto se emplearian todos los años en las tierras arrozales que hemos indicado, 280.607 quintales de guano, que importarian la respetable suma de 19.642.490 rs.

Produccion de los arrozales. Segun una nota facilitada por un propietario de Bellús al Excmo. Sr. D. Miguel Bosch y Juliá, nuestro jefe en la Comision de estudio de las inundaciones del Júcar, la produccion de una hanegada de buena tierra de arroz se resume en el siguiente estado:

Gastos.	Reales
Habas para abono	12
Guano y estiércol	58
Dos rejas en las inmediaciones de Todos Santos	8
Por cortar las habas en Abril, arar en seco y esparcir el abono	11
Por siete rejas estando el campo inundado	48
Por cuarenta haces de plantel	24
Plantacion	8
Por un cahíz de cal para matar el *borró* y la *tortuga* en Mayo	8
Una escarda á las tres semanas de la plantacion	6
Siega á últimos de Agosto ó primeros de Setiembre	8
Acarreo de las mieses á la era, trilla y limpia	16
Riego	8
Guardería	2
Producto bruto	217
Treinta *barchillas* de arroz más frio á 20 rs. la barchilla	600
Producto líquido	383

ó sea 4.596 rs. por hectárea, correspondientes á 60,3 hectólitros de arroz. Entre los ingresos no figura la paja, que sólo sirve para abono, quemándose la mayor parte en los mismos

arrozales ántes de sembrar las habas, y dejándose una corta cantidad para cama de los ganados.

Las buenas tierras de arroz cuestan en Bellús á 3.000 rs. la hanegada; por los arrozales que se arriendan se suele pagar 150 rs. por hanegada ó 1.800 por hectárea, corriendo de cuenta del propietario el pago de las contribuciones. De las noticias que en Antella se facilitaron al jefe de la Comision, se desprende que en dicha localidad los gastos de produccion por hanegada pueden calcularse en 229 rs. y los ingresos en 480; la diferencia es de 251. En Cullera los gastos se hacen subir á 200 rs. y los productos á 425, siendo de 225 rs. el producto líquido. Tomando el término medio de los tres tipos, resultan 215,33 rs. de gastos, 501,66 de producto bruto y 286,33 de producto líquido por hanegada, ó 3.436 rs. por hectárea.

En 1865 fueron sembradas de arroz en el delta derecho del Ebro unas 3.750 hectáreas. Para las labores se usan los arados de vertedera; la siembra y la siega se practican más tarde que en el Júcar, puesto que la siega más temprana tiene lugar por la Vírgen de Setiembre y la más tardía á mediados de Noviembre. Son pocos los labradores que hacen planteles y que emplean abonos, y á pesar del poco esmero en el cultivo, en las riberas del Ebro no escasean las tierras que dan de 70 á 75 hectólitros de arroz por hectárea, lo cual, á nuestro juicio, debe atribuirse á la riqueza del suelo en abonos naturales, y á la propiedad fertilizante del limo de que se hallan cargadas las aguas de riego.

Cultivos asociados al del arroz. El cultivo del arroz se asocia en algunos puntos de la cuenca del Júcar al del trigo, obteniéndose dos cosechas en el mismo año.

Decia á este propósito á fines del siglo pasado el insigne Cavanilles: »se ve con frecuencia una trasformacion que admira, verificándose en el corto espacio de veinticuatro horas sucederse el arroz de un pié de altura á las mieses de trigo. Esta metamórfosis se hace á fuerza de trabajadores y de caballerías. Va una cuadrilla segando el trigo, otra saca los

haces á las eras, sigue la tercera arando los campos, consecutivamente entra el agua, y continúan en prepararlas hasta que llegan los plantadores y completan aquella obra útil y agradable.»

Esta combinacion no puede practicarse en los terrenos bajos y húmedos; y en los que reunen condiciones á propósito, generalmente ocurre, que el año que se siembra trigo salen mal las dos cosechas, puesto que el labrador se ve precisado á sembrarlo ántes de tiempo, y por mucha prisa que se dé en levantarlo, se trasplanta el arroz más tarde de lo que conviene, exponiéndose la nueva cosecha á casi seguros perjuicios. Por esta razon los labradores inteligentes de la cuenca del Júcar suelen darse por satisfechos sacando una buena cosecha del cultivo preferente.

Riego de los arrozales. De intento hemos omitido la especialidad del riego de los arrozales al extendernos en las precedentes consideraciones sobre su cultivo, con el fin de que, tratando por separado este punto, aparezcan con mayor relieve algunos temas importantísimos que con dicho riego se hallan relacionados. Nos referimos al volúmen de agua necesario para este cultivo, y á la influencia que ejerce en el desarrollo de cierta clase de enfermedades. Pero ántes de tocar estas cuestiones, es preciso que digamos algo sobre la distribucion del agua entre los distintos tablares que forman el acotamiento.

Para el cultivo del arroz se divide el terreno en tablas sensiblemente horizontales, que se aislan unas de otras por medio de caballetes de recinto de unos 60 centímetros de ancho, ó de mayores dimensiones, si, al propio tiempo que sirven de diques de contencion de las aguas, han de formar una red de comunicaciones entre las distintas parcelas. Cuando el terreno sea próximamente horizontal podrá darse una gran extension á cada uno de los tablares que vienen á constituir una especie de bancal, sin perjuicio de que aquellos se dividan en secciones de menor magnitud, con el objeto de facilitar la entrada del agua, su distribucion unifor-

berique y Alcira, que dan lugar á la formacion del rio de los Ojos, cuyo caudal, aforado cerca del pueblo de Masalavés el dia 9 de Mayo de 1865, nos suministró un gasto de 7,645 metros cúbicos por segundo.

Hemos indicado ya que los terrenos bajos y pantanosos, impropios para otro cultivo, se prestan perfectamente al del arroz siempre que, favoreciéndoles el clima, cuenten con el agua de riego y el abono suficientes. No obsta para ello el que sean ligeramente salados, puesto que el gran volúmen de agua empleada en el riego, incesantemente renovada durante el período que comprende el desarrollo de la planta, disuelve la sal que del subsuelo asciende á la superficie y determina á la larga su desalamiento completo. Al mismo fin contribuyen los limos fertilizantes que van depositándose, y que, elevando constantemente el suelo, facilitan la conversion de ciertos terrenos improductivos en suelos susceptibles de llevar en buenas condiciones otro cultivo ménos peligroso para la salud de los trabajadores, y en general para los habitantes de la zona en que las emanaciones de los arrozales dejan sentir su perniciosa influencia.

Insalubridad de los arrozales. Cuando los arrozales, por efecto de la sequía, ó por otra causa cualquiera, sólo pueden disfrutar de un caudal intermitente, el estancamiento de las aguas y la accion de una elevada temperatura determinan la produccion de fermentaciones pútridas y de emanaciones ó miasmas palúdicos altamente perjudiciales á la salud pública. Se comprende que en los tablares de arrozal ha de desarrollarse infinidad de séres inferiores, especialmente infusorios y algas microscópicas, que bajo la accion del sol abrasador de nuestros climas se reproducen rápidamente y llenan la atmósfera respirable en una gran extension de sus miasmas deletéreos. Sin citar arrozales de hoy recordaremos la triste memoria de las infinitas víctimas inmoladas al afan inmoderado del lucro en las vegas bajas del Ter en Cataluña, no hace muchos años cubiertas de arrozal, y hoy dedicadas á un cultivo de huerta en apariencia ménos

rico, porque en el balance de la produccion no se quiere tomar en cuenta las cifras que representan los gastos por enfermedades, el vigor perdido y las vidas sacrificadas al interés de unos pocos propietarios, que sin género de duda iban á gozar de sus rentas fuera de la accion de aquella atmósfera mortífera.

Claro es que el mal, que en ciertos casos es susceptible de adquirir proporciones espantosas, se aminora en gran parte y puede llegar casi á hacerse insensible mediante una buena policía en los riegos y adoptando el método de renovacion continua que hemos indicado.

No olvidaremos fácilmente el mal efecto que nos produjo la vista de los arrozales de los alrededores de Játiva al atravesarlos en una clara noche de luna del mes de Junio de 1865, poco ántes de terminar el período de siete meses que comprendieron nuestras excursiones por la provincia de Valencia, estando afecto al servicio de la Comision de estudio de las inundaciones del Júcar. Los tablares de arrozal que debian ofrecer á la reflexion del astro de la noche superficies tersas y brillantes, no presentaban á la vista más que extensos manchones negruzcos de algas, caprichosamente festoneados por las plateadas fajas en que no habia sido empañado el puro cristal de las aguas.

Es indudable que muchos de los cotos de arrozal de la region superior de la ribera del Júcar podrian irse destinando paulatinamente á otras producciones ménos peligrosas, sin que en último resultado perdiera nada la agricultura de Valencia, tan rica en recursos por su privilegiado suelo, por su hermoso cielo y por la actividad é inteligencia de sus cultivadores.

Variedades de arroz de riego intermitente. En Febrero de 1880 llegó á nuestro conocimiento por los periódicos agrícolas de Italia que la Direccion general de Agricultura de aquel país habia mandado practicar ensayos de aclimatacion de algunas variedades de arroz de orígen japonés, que no exigen, como el arroz ordinario, un cultivo enchar-

cado. Un informe publicado por el Sr. G. Giordano, presidente del comicio agrario de Mistretta (Sicilia), dando cuenta de los ensayos verificados bajo su inmediata direccion, ponia de manifiesto el éxito completo de los experimentos hechos con las variedades sometidas al ensayo, las cuales llegaron á perfecta madurez sin exigir más cuidados que los ordinarios de un cultivo comun de regadío.

Como estos hechos ofrecian en nuestro concepto un interés especial para España, nos dirigimos al Sr. Giordano rogándole contestara á un cuestionario, y nos remitiera simiente, á fin de poder continuar desde luégo los experimentos en nuestro país. El Sr. Giordano tuvo la amabilidad de contestar detalladamente á todos los puntos de nuestro cuestionario y de remitirnos un saquito de simiente japonesa y algunas espigas recriadas por él en Mistretta.

Recordaremos de paso que las especies y variedades de arroz pueden comprenderse bajo el punto de vista agrícola en dos grupos; primero, especies y variedades cultivadas en terrenos sumergidos por las aguas durante todo el período de vegetacion de la planta; segundo, variedades que reciben el agua periódicamente, ya sea directamente las aguas meteóricas en los climas tropicales húmedos, ya las que se suministran por riego artificial, cuando las aguas zenitales no bastan á satisfacer las necesidades del cultivo. De todas estas especies y variedades la mayor parte se destina á la obtencion del grano, miéntras que otras se cultivan principalmente con destino á la produccion de forraje.

Las especies cultivadas para la produccion del grano son principalmente las siguientes: *Oryza sativa*, *O. montana*, *O. japonica*, *O. glutinosa*, y *O. mutica*. La especie *O. latifolia* ó *perennis* es trienal, procede de la América Central, y se cultiva ordinariamente como planta forrajera en América y en la Australia.

Las variedades conocidas bajo la denominacion comun de *arroz de montaña*, ó *arroz de secano (Oryza montana*, Lour.) son conocidas de larga fecha en España; se las supone origi-

narias de Cochinchina, y su cultivo se extiende considerablemente por la cordillera del Himalaya, por la parte accidentada de la China y del Japon, Cochinchina, islas de Ceylan, Java, Sumatra, Filipinas, Madagascar, por Méjico y por la Carolina del Sur.

En esos países las lluvias frecuentes y copiosas de primavera y verano, y la elevada temperatura de que la planta disfruta en dichas estaciones, aseguran la granazon sin necesidad de apelar al riego artificial supletorio, que se hace, por el contrario, indispensable cuando el clima no es suficientemente húmedo, como sucede con frecuencia en la misma Carolina y constantemente en los países meridionales de Europa.

Las muestras de arroz japonés remitidas por el señor Giordano venian designadas con el nombre de arroz *okabo,* variedades *urusciné* y *muscigomé.*

Deseando aprovechar el tiempo á fin de que pudieran hacerse los ensayos en el mismo año, distribuimos la simiente entre el Instituto agrícola catalan de San Isidro, la Sociedad valenciana de Agricultura, la Sociedad económica de Murcia y entre varios propietarios de arrozales del delta del Ebro.

En los mismos dias en que hicimos la distribucion de la simiente tuvimos noticia de que en la costa de Portugal se cultivaba con éxito el arroz carolino, que llaman los portugueses *de sequeiro,* é inmediatamente pedimos noticias y muestras de simiente á nuestro sabio amigo el excelentísimo Sr. D. Juan Ignacio Ferreira Lapa, Par del reino y profesor y director del Instituto general de Agricultura de Lisboa. Confirmadas por el Sr. Ferreira las noticias adquiridas, y recibida la simiente pedida, distribuimos el nuevo envio entre la Sociedad de ciencias físicas y naturales de Málaga, la Sociedad económica de Sevilla, y reservamos una parte, que remitimos al ilustre Nadault de Buffon, encargado á la sazon de la alta direccion de los trabajos de saneamiento de las marismas de Lebrija, y arrebatado muy poco tiempo

despues por la muerte á la ciencia hidrológica, á la que tantos servicios habia prestado en su larga y laboriosa vida.

El Instituto agrícola catalan de San Isidro distribuyó entre varios de sus socios la simiente recibida, y los resultados obtenidos en los ensayos que practicaron fueron muy diversos, segun la procedencia de las semillas sembradas. La procedente del Japon habia perdido ya su propiedad germinativa, y no dió por lo mismo resultado en parte alguna. La simiente que procedia de las espigas obtenidas en Mistretta por el Sr. Giordano fueron sembradas en Salt, cerca de Gerona, por nuestro excelente amigo el Sr. Marqués de Camps, y los resultados obtenidos pueden resumirse de la manera siguiente:

Se sembró una espiga que contenia 144 granos y se obtuvieron 216 espigas. La planta alcanzó una altura de $1^{m},25$. Las espigas de longitud máxima llegaron á medir $0^{m},24$ con 222 granos; las de longitud media $0^{m},19$ con 122 granos, y las menores $0^{m},14$ con 90 granos. La media de los granos de cada espiga fué de 144, que multiplicados por las 216 espigas dan 31.104 granos, ó sea el 21.600 por 100. El peso total de las espigas fué de 40,25 gramos.

Las semillas sembradas por el Sr. Marqués de Camps estuvieron previamente en remojo por espacio de veinticuatro horas en agua saturada de sal comun. La siembra se hizo á principios de Mayo, ocho dias despues apareció la plantita, que se regó luégo de ocho en ocho dias, y dos veces por semana en la época de los fuertes calores.

Tuvieron tambien un éxito completo los ensayos hechos en el delta del Ebro por nuestro amigo el Sr. Ortega, de Tortosa. Las semillas de procedencia italiana se sembraron el 20 de Mayo, apareciendo las plantas en 1.° de Junio; el 25 de Agosto empezó la floracion, y la granazon era ya completa el 20 de Setiembre. Las variedades portuguesas de arroz carolino no dieron resultado alguno bajo el punto de vista de la produccion de semilla, porque las espigas se secaron poco despues de la floracion; pero la planta tuvo un creci-

miento vigoroso, y suministró un excelente y muy abundante forraje.

En Murcia los ensayos no dieron resultado alguno á causa de la mala calidad de las semillas. En Málaga y en Sevilla las variedades de arroz carolino se distribuyeron tarde y se dejaron los ensayos para el año siguiente, y probablemente no llegarian á efectuarse, puesto que de ellos no se nos ha dado noticia.

En Valencia se hicieron los ensayos de cultivo en los jardines de la Estacion agronómica bajo la direccion del profesor de la Universidad Sr. Arévalo. Asegurada la vida de la planta á beneficio de una pequeña cantidad de guano, el cultivo y los cuidados no han podido ser más sencillos, reduciéndose á conservar el suelo libre de malas yerbas, y á regar de ocho en ocho dias en primavera lo mismo que en verano. La planta llegó á aguantar períodos de riego de quince dias, lo cual no deja de ser notable dadas las condiciones de la planta y el clima cálido de Valencia. Crecieron las matas muy vigorosas y suministraron semilla abundante. Por término medio cada mata ha producido doce espigas, y la altura media de la planta ha sido de $0^{m},80$. La variedad *muscigomé precoz* alcanzó la madurez completa á fines de Agosto; la *muscigomé tardía* no llegó á madurar hasta fines de Setiembre. El peso medio de las espigas de esta variedad fué de 8 gramos, y las espigas de la variedad *urusciné precoz* no llegaron á pesar más de 5,5 gramos.

De la nota que tuvo la amabilidad de facilitarnos el señor comendador Miraglia, Director general de Agricultura en Roma, se desprende que de los ensayos practicados en vasta escala en Vercelli bajo los auspicios del Gobierno italiano por el sabio agrónomo Sr. Malignami, se pueden deducir las conclusiones siguientes:

1.° Que las variedades exóticas de arroz, cuyo cultivo hizo ensayar el Ministerio de Agricultura de Italia, son todas más productivas que las ordinariamente cultivadas en dicho país.

2.° Que el arroz chino no posee propiedades económicas que le hagan especialmente recomendable.

3.° Que las variedades japonesas se adaptan muy bien á las localidades en que el agua es limitada, y que por sus cualidades económicas y por su resistencia á la intemperie merecen recomendarse áun por su propiedad de suministrar abundante y excelente forraje.

De los resultados de nuestra campaña arrocera de 1880, que ligeramente acabamos de reseñar, dimos cuenta en la seccion de Agronomía del Congreso que la Sociedad francesa para el adelanto de las ciencias celebró en Rouen en Agosto de 1883, y en el cual fuímos honrados con la Vicepresidencia de la seccion. Posteriormente, á principios de Marzo de 1884, hemos visto en las revistas agrícolas francesas inserta una circular que el Presidente de la Sociedad central de aclimatacion de París, M. Bouley, dirige á los agricultores franceses invitándoles al ensayo de una nueva variedad de arroz de montaña, remitido por las misiones francesas de la provincia china de Mandchourie; y, deseando extender á nuestro país los ensayos de la nueva variedad, pedimos semilla, que nos fué inmediatamente remitida en cantidad suficiente para un ensayo en mucho mayor escala que el que hicimos en 1880. Hemos hecho la distribucion del arroz chino en cuanto ha llegado á nuestro poder, y actualmente se hallan en vías de ejecucion los ensayos en todas las provincias de España, con las islas Baleares y Canarias inclusive.

Los ensayos de aclimatacion de las variedades de arroz de riego intermitente datan en España del primer tercio de este siglo, y el arroz *de montaña,* llamado impropiamente *de secano,* procedente de las islas Filipinas y de Puerto-Rico, dió excelentes resultados en los experimentos hechos en Sevilla, Málaga, Córdoba, Murcia, Valencia y Cataluña. La aclimatacion de estas variedades se relaciona con dos cuestiones de la más alta importancia en nuestro país. Por un lado la falta de lluvias y el régimen de penuria en que se encuentran nuestros rios durante la estacion calurosa, hacen

muy difícil, si no imposibilitan por completo, la renovacion del agua en los arrozales, á lo ménos en la medida necesaria para evitar el desprendimiento de los miasmas palúdicos que tantos perjuicios causan á la salud pública. Aparte de esta importantísima cuestion de salubridad, se relaciona la sustitucion de muchos arrozales encharcados por otros de riego intermitente con otra cuestion económica de la más alta importancia, que consiste en la mayor extension que podria adquirir el cultivo de regadío, y el crecimiento enorme que podria alcanzar la riqueza agrícola en algunas comarcas de España, si el exceso de agua que consumen los arrozales se destinara, como pudiera hacerse, á extender el cultivo de regadío á una superficie vez y media mayor que la actualmente dedicada al cultivo de arrozal encharcado.

¿Se concibe la riqueza enorme que obtendrian los alicantinos derivando del Júcar el exceso de agua que consumen los arrozales de la Ribera?

CAPÍTULO XX.

PRADOS.—NOCIONES PRELIMINARES.

Con la denominacion genérica de *prado* comprendemos toda porcion de terreno cubierta espontánea ó artificialmente de plantas ánuas, bienales ó vivaces, destinadas á la alimentacion de los ganados. Cuando en la diseminacion de la semilla y en el desarrollo de la vegetacion pratense sólo interviene la accion espontánea de la naturaleza, reciben los prados el nombre de *naturales*, y el de *artificiales* cuando á su creacion ó entretenimiento contribuye el trabajo del hombre. Algunos autores designan con el nombre de *prados permanentes* á los que proceden de siembra y se desarrollan y conservan por la accion espontánea de los agentes naturales.

Division de los prados naturales. Los accidentes del terreno y las afecciones meteorológicas imprimen un carácter especial á la vegetacion pratense, por cuyo motivo, atendiendo á su situacion, suelen dividirse los prados naturales en *prados de sierra*, *de ladera* y *bajos*. Se conocen con el nombre de *prados de sierra* los situados en la parte alta de las montañas: suelen estar caracterizados por una vegetacion compuesta de yerbas finas, generalmente destinadas al pastoreo de los ganados lanar y cabrío. Los *prados de ladera* se hallan en los sitios que su misma denominacion indica, y se reconocen por una vegetacion más lozana que la de los anteriores. Los *prados de soto* se encuentran en las orillas de los rios: su vegetacion suele ser más vigorosa, aunque de calidad inferior á la de los anteriores y se dedican comunmente á la alimentacion de los ganados caballar y vacuno.

FREE LIBRARY OF THE UNIVERSITY

La produccion pratense destinada al consumo en pié, ó sobre el mismo terreno, se designa con el nombre de *pasto*, y con el de *yerba* ó *heno* la que se consume despues de segada.

Como el ganado se cria mejor en los puntos en que se le proporcionan más ventajosas condiciones de existencia, y éstas han de variar necesariamente con las estaciones, de ahí la division de los prados naturales en prados de *invierno* y de *verano*. Estos últimos corresponden por lo general en nuestros climas á los que, bajo el punto de vista de su situacion, hemos designado con los nombres de prados de sierra y de ladera, cuyo aprovechamiento suele imposibilitar en invierno la capa de nieve que ordinariamente los cubre. Por más que la época de aprovechamiento de los pastos de invierno suele corresponder en España al período comprendido entre los primeros dias de Noviembre y los últimos de Abril, nadie mejor que el mismo ganado la señala, sea porque instintivamente propende á buscar lo que mejor conviene á su alimentacion, sea por la costumbre de emigrar que tiene en nuestro país el ganado trashumante.

Este estudio puede hacerse en los muchos rebaños de Cuenca y algunos de Soria que van á invernar á la parte meridional de las provincias de Aragon, Valencia y Murcia, en algunos ganados estantes de tierra de Segovia y Avila que pasan á invernar á sierra de Talavera y Ledesma y algunos á Castilla la Nueva; pero sobre todo en los rebaños que agostan en las montañas de Leon, Segovia, Burgos, Soria y Cuenca y pasan en invierno á Extremadura, á la Mancha ó á Andalucía.

Los prados naturales sólo subsisten durante las cuatro estaciones donde se disfruta de un invierno suave y de un verano húmedo, puesto que los inviernos rigurosos se oponen al desarrollo de la vegetacion herbácea lo mismo que los veranos cálidos y secos, aunque obrando sobre la yerba de distinta manera. En el centro y en las provincias meridionales de la Península el calor del verano deseca las plantas, desapareciendo en consecuencia los prados naturales desde

el principio de la estacion calurosa. A esta circunstancia se debe sin duda que los extranjeros que se han ocupado del estudio de los riegos de nuestro país hayan asegurado, como M. Aymard, en términos demasiado absolutos, que los prados naturales son desconocidos en España.

Prados artificiales. Se llama *prado artificial* á un campo sembrado de plantas ánuas, bienales ó vivaces que se cultivan y se siegan para servir de alimento al ganado. A los productos de esta clase de prados se les da el nombre de *forrajes*, ya sean comidos en verde por el ganado, ya se sequen y conserven para el mismo objeto. El nombre de forraje se ha extendido tambien en la práctica á una porcion de plantas con las cuales no se hace *heno*, pero cuyos tallos, hojas y raíces pueden ser consumidos en verde por los ganados, y bajo este concepto se colocan entre los forrajes las remolachas, nabos, zanahorias y otra multitud de productos agrícolas de propiedades nutritivas análogas.

Prados de secano y de regadío. Los prados naturales, lo mismo que los artificiales, pueden dividirse en *prados de secano y de riego:* de éstos, unos se riegan durante todo el año; otros sólo desde la primavera hasta el otoño, y otros únicamente en primavera durante el período anterior al de la floracion.

De las indicaciones que hemos hecho acerca de la influencia del clima en el desarrollo de la vegetacion herbácea, se deduce desde luégo que los prados naturales de secano sólo subsistirán en invierno y primavera en las provincias del centro y en las meridionales de España, y que únicamente conservarán un carácter de permanencia en todas las estaciones en algunas montañas de las provincias septentrionales, y especialmente en toda la faja constituida por la zona cantábrica, cuyo clima templado y húmedo, altamente favorable á la produccion pratense, mantiene el suelo en un estado casi constante de verdura.

La variedad suma de especies susceptibles de cultivo para prados artificiales facilita al agricultor inteligente la

adopcion de multitud de combinaciones, las cuales le permiten disponer de forrajes abundantes en las distintas épocas del año, mayormente cuando puede recurrir al oportuno auxilio de las aguas de riego. Merece citarse un caso notable por la importancia de sus productos, por la circunstancia de no contar con más aguas de riego que las que proporcionan directamente las lluvias y por ser casi exclusivo de una limitada comarca de España, y nos referimos al cultivo de los prados artificiales, tal como lo hemos visto practicado en algunos pueblos de la zona que en la provincia de Gerona se conoce con el nombre de *La Selva*. El prado á que aludimos sigue y precede á una cosecha de trigo, con la que forma una rotacion bienal, y está constituido por las tres especies altramuz, nabo comun y trébol de Holanda. El altramuz y el nabo comun son plantas otoñales, y el trébol de Holanda es primaveral; de modo que, asociándolos, se pueden arrancar en Noviembre, Diciembre y Enero los altramuces y nabos sin perjudicar al desarrollo de aquella leguminosa, cuyos tiernos tallos apenas aparecen en la superficie del suelo.

Este cultivo da abundantísimo y nutritivo forraje al ganado de labor, muy apetecido especialmente por el vacuno; y se comprende que posea la mezcla excelentes cualidades como alimento, puesto que en los nabos predomina la fécula, en los altramuces un principio amargo y tónico, y en el trébol de Holanda un principio azoado. Obtenido el forraje en verde se pueden sacar hasta 300 quintales por vesana ó 1.260 por hectárea; y es de tal importancia en la citada comarca este cultivo, que los labradores no temen la mala cosecha de trigo cuando la de forrajes ha sido abundante.

Importancia y ventajas del cultivo pratense. El movimiento que los adelantos modernos han comunicado en España á todas las industrias, se ha dejado asimismo sentir en las variadas manifestaciones de la industria agrícola; hay que exceptuar, sin embargo, las que se refieren al cultivo

pratense, que en la generalidad de nuestras provincias yace en un estado lamentable de atraso y abandono.

La necesidad de regenerar el cultivo pratense va dejándose sentir de dia en dia con intensidad creciente, porque entregados al dominio privado dilatados terrenos de aprovechamiento comunal que se destinaban á la produccion de yerbas y pastos, roturadas para un cultivo agrícola más intenso multitud de dehesas, denudado el suelo de las montañas por la tala de la vegetacion arbórea que constituia su defensa contra la accion erosiva de las aguas, defendida cada dia con mayor vigor la inviolabilidad del dominio privado, y disminuidas en consecuencia las facilidades para la trashumancia de los ganados, va tomando un carácter imponente de urgencia la necesidad de ganar en intensidad lo que se pierde en extension, y de recurrir, para la cria de ganados, al sistema mixto de estabulacion y pastoreo, aprovechando todos los recursos de nuestros variados climas y de nuestro accidentado suelo.

La importancia de los prados se pone de relieve sin más que considerar el papel que desempeñan en el progresivo desarrollo de la riqueza: destinados á la alimentacion de los ganados que abastecen de carne al consumo público, que suministran primeras materias á variadas é importantísimas industrias, que sirven á la agricultura á la vez de agente mecánico y de potencia regeneratriz de los elementos fertilizantes del suelo, es indispensable mejorar la produccion pratense para que prosperen de consuno nuestra decadente industria pecuaria y su inseparable compañera la industria agrícola propiamente dicha.

Para ese adelanto progresivo el buen sentido reclama que los prados naturales que rinden menores productos, pero que en cambio exigen ménos gasto que los artificiales, se conserven y mejoren en todas aquellas localidades apartadas de los centros de poblacion, en las cuales el trasporte de los productos de la tierra sea caro y difícil, en que haya exceso de superficie y falta de capital y de brazos para explotarla,

y, en términos generales, en todos aquellos sitios en que por cualquier causa no sea el suelo susceptible de una explotacion más provechosa. Los prados naturales serán sustituidos con ventaja por los artificiales, siempre que para su cultivo se pueda contar con los elementos indispensables á la realizacion de un trabajo agrícola más intenso.

No podemos entrar en detalles acerca del cultivo pratense, cuyo estudio puede hacerse en cualquier tratado especial ó en las obras generales de Agricultura, y nos limitaremos á hacer algunas indicaciones acerca de las plantas que en nuestro país forman la base de los prados naturales, dejando para los dos capítulos inmediatos el estudio de los riegos especiales á este cultivo, tema preferente de nuestro trabajo.

Plantas útiles, indiferentes y nocivas. Al estudiar los prados con aplicacion al arte de mejorar y multiplicar la ganadería, interesa conocer las plantas que los constituyen, tanto las útiles como las indiferentes y nocivas; y entendemos por plantas *indiferentes* aquellas que, desprovistas de cualidades para que por sí solas formen un alimento nutritivo, no producen en el organismo animal desarreglo alguno que ofrezca serios inconvenientes. No hay que confundir, sin embargo, estas plantas con las que, sin ser por sí mismas un alimento, poseen propiedades tónicas ó estimulantes que obran en el organismo como saludable aperitivo.

Las denominaciones de útiles y nocivas aplicadas á las plantas de prado tampoco pueden tener un carácter absoluto, tanto porque no se halla suficientemente adelantada la fisiología para que sus indicaciones puedan ser tomadas en sentido axiomático, como porque algunas plantas que son reconocidamente nocivas, y hasta pueden constituir un veneno muy activo para cierta clase de ganados, son para otra inocuas é indiferentes. Importa, sin embargo, proscribir de los prados las plantas dañinas absoluta ó relativamente, porque indudablemente á su presencia se debe multitud de

desconocidas epizootias que con frecuencia dejan sensibles claros en la estadística de la riqueza pecuaria.

Uno de los mejores trabajos que relativamente á plantas pratenses útiles tenemos en nuestro país es una lista publicada por D. Mariano Lagasca con arreglo á sus observaciones practicadas en la sierra de Leon. La ponemos á continuacion con el signo característico de bondad relativa (B. *buena;* M. B. *muy buena;* E. *excelente*), que su autor atribuye á cada una de las plantas, y las adicionamos, agrupadas por familias, con la lista de otras especies no citadas por aquel insigne botánico y observadas en las praderas de la zona central de España por nuestro buen amigo y querido maestro el Excmo. Sr. D. Máximo Laguna, Inspector general del Cuerpo á que pertenecemos y Jefe de la Comision de la Flora forestal española.

PLANTAS ÚTILES.

Gramíneas.

B.—*Agrostis alba*.....	Agróstide blanca.
Agr. camina.....	—
Agr. castellana.....	—
B.—Agr. pungens.....	Agróstide pinchuda.
Agr. pallida.....	—
B.—Agr. stolonifera.....	Agróstide cundidora.
Agr. vulgaris.....	—
B.—*Aira aquatica*.....	Aira acuática.
M. B.—A. cæspitosa.....	» de césped.
A. flexuosa.....	» ondeada.
A. montana.....	» montana.
M. B.—A. refracta.....	» refracta.
B.—*Alopecurus agrestis*.....	Alopecuro agreste.
A. castellanus.....	—
M. B.—A. pratensis.....	» pratense.
B.—*Anthoxanthum odoratum*. ..	Grama de olor.
Avena barbata.....	—
B.—A. cantabrica (Lagasca) ...	Avena cantábrica.
M. B.—A. Cavanillesi (Lag.).....	» de Cavanilles.

M. B.—	A. elatior	Avena descollada.
B.—	A. flavescens	» amarillenta.
B.—	A. pratensis	» pratense.
M. B.—	A. sterilis	» ballueca.
B.—	A. strigosa	Avena muy áspera.
B.—	*Briza eragrostis*	Briza eragroste.
B.—	Br. media	» mediana.
B.—	*Bromus arvensis*	Bromo de campos.
B.—	Br. giganteus	» agigantado.
B.—	Br. inermis	» inerme.
	Br. matritensis	—
	Br. mollis	—
B.—	Br. pratensis	» pratense.
	Br. racemosus	—
	Br. secalinus	—
B.—	*Cynosurus cristatus*	Cinosuro de cresta.
B.—	*Dactilis glomerata*	Dactilis conglobado.
B.—	*Festuca amethystina*	Cañuela violada.
B.—	F. dumetorum	» de matorrales.
B.—	F. duriuscula	» durilla.
M. B.—	F. elatior	» descollada.
B.—	F. fluitans	» flotante.
B.—	F. glauca	» glauca.
B.—	F. mucronata	» arrejonada.
M. B.—	F. ovina	» violada.
M. B.—	F. phœnicoides	» como la grama fénix.
B.—	F. pinnata	» pinada.
M. B.—	F. pratensis	» pratense.
B.—	F. rubra	» roja.
B.—	*Holcus lanatus*	Holco lanudo.
B.—	H. mollis	» blando.
	H. setiglumis	—
M. B.—	*Hordeum distichon*	Cebada ladilla.
M. B.—	H. hexastichon	» ramosa.
M. B.—	H. pratense	» pratense.
M. B.—	H. vulgare	» comun.
E.—	*Lolium perenne*	Vallico.
B.—	*Melica montana*	Melica montana.
B.—	M. piramidalis	M. piramidal.
M. B.—	M. uniflora	» uniflora.
B.—	*Milium effusum*	Mijo desparramado.
M. B.—	M. paradoxum	Alpiste de pájaros.
	M. scabrum	—

M.	*B.—Phalaris arundinacea*	Alpiste arundináceo.
	B.—Phleum nigricans	Fleo negruzco.
M.	*B.*—Ph. pratense	» pratense.
	B.—Ph. nodosum	» nudoso.
M.	*B.—Poa alpina*	Poa alpina.
M.	*B.*—P. angustifolia	» de hoja angosta.
	B.—P. aquatica	» acuática.
	B.—P. bulbosa	» bulbosa.
	B.—P. compressa	» comprimida.
	B.—P. cristata	» de cresta.
	B.—P. distans	» distante.
	B.—P. nemoralis	» de bosques.
	B.—P. pratensis	» pratense.
M.	*B.*—P. trivialis	» trivial.
	E.—Secale cereale	Centeno.
	B.—Sesleria cærulea	Seslería azul.
	B.—Stipa juncea	Esparto ajuncado.
	B.—Triticum junceum	Trigo ajuncado.
M.	*B.*—Tr. repens	» rastrero.

Leguminosas.

	Anthyllis lotoides	—
	Anth. vulneraria	—
	B.—Astragalus hamosus	Astrágalo ganchoso.
	Biserrula pelecinus	—
M.	*B.—Ervum lens*	Lenteja.
M.	*B.—Hedisarum onobrychis*	Pipirigallo ó esparceta.
	B.—H. caputgalli	Cabeza de gallo.
M.	*B.*—H. coronarium	Sulla.
	B.—H. cristagalli	Cresta de gallo.
	B.—Lathyrus aphaca	Latiro afaca.
	B.—L. articulatus	» articulado.
M.	*B.*—L. cicera	» galgana.
	B.—L. nissolia	» de Nisolio.
	B.—L. pratensis	» pratense.
	B.—L. tingitanus	» de Tánger.
	Lotus corniculatus	—
	E.—Lupinus albus	Altramuz.
	B.—Medicago arborea	Mielga ó alfalfa arborescente.
	B.—M. denticulata	» dentadita.
M.	*B.*—M. falcata	» arqueada.

E.—M. lupulina.....	Mielga de flor de lúpulo.
M. maculata.....	—
M. marginata.....	—
M. minima.....	—
M. orbicularis.....	—
E.—M. sativa.....	» ó alfalfa comun.
Trifolium agrarium.....	—
Tr. arvense.....	—
M. B.—Tr. incarnatum.....	Trébol encarnado.
M. B.—Tr. melilotus.....	» oloroso.
M. B.—Tr. parviflorum.....	—
M. B.—Tr. pratense.....	» pratense.
B.—Tr. repens.....	» rastrero.
Tr. resupinatum.....	—
Tr. tomentosum.....	—
M. B.—*Vicia cracca*.....	Uva lara craca.
B.—V. dumetorum.....	» de los matorrales.
M. B.—V. ervilia.....	» yeros.
M. B.—V. lutea.....	» amarilla.
M. B.—V. pisiformis.....	» en forma de guisante.
E.—V. sativa.....	» arveja.
B.—V. sepium.....	» de vallados.
B.—V. sylvatica.....	» silvática.
B.—V. tenuifolia.....	» de hojas delgadas.

Compuestas.

B.—*Achillea millefolium*.....	Mil en rama.
Bellis perennis.....	—
B. sylvestris.....	—
B. annua.....	—
Hypochæris radicata.....	—
B.—*Tragopogon pratense*.....	Barba cabruna de pradera.
B.—*Tr. porrifolium*.....	» comun.

Rosáceas.

Poterium dyctiocarpum.....	—
P. muricatum.....	—
P. spachianum.....	—
Sanguisorba officinalis.....	—

Líneas.

B.—Linum catharticum..... Lino purgante.
B.—L. maritimum..... » marítimo.
B.—L. narbonense..... » de Narbona.

Esmiláceas.

B.—Convallaria verticillata..... Convalaria verticilada.

Poligóneas.

B.—Rumex acetosa..... Acedera.

Ranunculáceas.

B.—Ranunculus repens..... Ranúnculo rastrero.

Crucíferas.

B.—Erysimum alliaria..... Aliaria.

Por la lista que precede se ve que las plantas útiles pertenecen en su mayor parte á las gramíneas, en menor número á las leguminosas, pocas á las compuestas y rosáceas, y sólo muy contadas especies á las familias que hemos colocado en último término.

Plantas indiferentes y nocivas. No existe trabajo alguno análogo respecto de las plantas indiferentes y nocivas observadas en las praderas de España, pues aunque hay una lista de ellas escrita por D. Francisco Martinez Robles, se encuentran en la misma confundidas ambas clases. Las insertaremos, sin embargo, á continuacion, anotando con la inicial de *nocivas* las plantas así consideradas en los prados de Alemania, segun el catálogo que hemos visto en la obra sobre la creacion de praderías regadizas del Ingeniero Dünkelberg, profesor del Instituto de Wiesbaden, y añadiendo la inicial *V* de *venenosas* á las citadas por M. Vianne en su obra *Prairies et plantes fourragères.*

Plantas inútiles y dañosas á los prados.

N.—Achillea ageratum.....	Aquilea agerato.
N.—A. ptarmica.....	» tármica.
V.—Aconitum napellus..	Acónito napelo.
V.—A. lycoctonum..... ...	» matalobos.
Aetusa cynapium.....	Cinapio. Apio de perros.
Agrimonia eupatoria.....	Agrimonia.
Ajuga piramidalis.....	Ayuga piramidal.
N.—Alisma plantago.....	Alisma. Llantén de agua.
N.—Allium angulosum.....	Ajo anguloso.
Althæa.....	Las especies de este género.
Andropogon ischæmum.....	Andropogon isqueno.
N.—Anemone nemorosa.....	Anémone de bosques.
A. pratensis	» de prados.
A. pulsatilla.....	» pulsatila.
Angelica Razulii.....	Angélica de Razul.
Anthemis cota.....	Manzanilla cota.
Antirrhinum elatine.....	Antirrino elatine.
A. majus...	Boca de dragon.
Arctium lappa.....	Lampazo ó bardana.
Aristolochia clematitis.....	Aristoloquia clemátite.
Atropa belladona.....	Belladona.
A. mandragora.....	Mandragora.
Ballota nigra.....	Marrubio negro.
Betonica officinalis.....	Betónica oficinal.
Bidens tripartita.....	Bidente tripartido.
B. cernua.....	B. cabizbajo.
Bryonia alba.....	Nuez blanca.
Butomus umbellatus.....	Junco florido.
V.—Caltha pallustris.....	Yerba centella.
Campanula rotundifolia....	Campanula de hoja redonda.
C. speculum...	Espejo de Venus.
Carduus acanthoides.....	Cardo atobado.
C. acaulis.....	» sin tallo.
C. palustris.....	» palustre.
N.—Carex.....	Laston (con todas sus especies),
Carlina vulgaris.....	Carlina vulgar.
Centaurea montana.....	Aciano mayor.
C. nigra.....	» negro.
Cerastium manticum.....	Cerastio mantico.
C. repens.....	» rastrero.

Chelidonium majus.....	Celedonia mayor.
Chærophyllum palustre... .	Perifollo palustre.
Ch. silvestre.....	» silvestre.
Chondrilla juncea...	Achicoria dulce ó ajonjera.
Chrysanthemum leucathemum.....	Crisantemo leucatemo.
V.—Cicuta virosa..... .	Cicutaria.
Cineraria palustris.....	Cineraria palustre.
Cistus helianthemum.....	Jara heliantemo.
Clinopodium vulgare.....	Clinopodio vulgar.
(1) *V.*—Colchicum autumnale.....	Quitamerienda de otoño.
(1) *V.*—C. montanum.....	» montana.
(1) *V.*—C. maculatum.....	Conio manchado ó cicuta.
Conyza squarrosa.....	Coniza desparrancada.
Convolvulus arvensis	Corregüela de los campos.
Crepis biennis.....	Crépide bienal.
C. fætida..... ...	» fétida.
C. tectorum.....	» de tejados.
N.—Cuscuta europæa.....	Cuscuta de Europa.
Cynoglossum officinale.....	Viniebla ó lengua de perro.
Cynosurus echinatus.... ..	Cinosuro erizado.
Cyperus (género).....	Las juncias.
Datura stramonium.....	Estramonio.
Dipsacus fullonum.....	Cardencha cardadora.
D. sylvestris..	» silvestre.
Echium vulgare	Viborera vulgar.
Epilobium molle...	Epilobio blando.
E. angustifolium.....	» de hoja angosta.
N.—Equisetum (género)	Los equisetos ó cola de caballo.
N.—Erigeron canadense.....	Erigeron del Canadá.
Eriophoron.....	(Todas sus especies).
Eryngium campestre..	Cardo corredor.
Eupatorium cannabinum...	Eupatorio acañamado.
N.—Euphorbia (género).....	Las euforbias.
Euphrasia latifolia	Eufrasia de hoja ancha.
E. odontites.....	» odontites.
E. officinalis.....	» oficinal.
Galega officinalis.....	Galega oficinal ó ruda cabruna.
Galium lucidum.....	Cuajaleche lustroso.
G. palustre.....	» palustre.

(1) La semilla de estas plantas envenenan el heno.

G. uliginosum.....	Cuajaleche de cenagales (y las demás especies).
Genista sagittalis	Genista de saeta.
Gentiana centaurium.....	Centaura mayor.
Geranium dissectum.....	Geranio cortado.
G. sanguineum.....	» sanguíneo.
Geum urbanum	Geo doméstico.
Glechoma hederacea.....	Yedra terrestre.
Globularia vulgaris	Globularia vulgar.
Gratiola officinalis.....	Graciola oficinal.
N.—Heracleum sphondyllium...	Heráclco espondilio.
Herniaria glabra.....	Milengrana.
Hieracium pilosella.....	Hieracio pelosilla.
Hyoscyamus (género).....	Los beleños.
Hypericum perforatum.....	Hipericon ó corazoncillo.
Inula britannica.....	Inula de Bretaña.
I. dysenterica.....	» disenterica.
I. pulicaria	Yerba pulguera.
N.—Iris Xyphium.....	Lino de sierpe.
N.—I. pseudoacorus.....	» falso acoro.
N.—I. germanica.	» cárdeno.
N.—I. florentina.....	» florentino ó blanco.
Juncus articulatus.....	Junco articulado.
J. campestris.....	» campestre.
J. conglomeratus.....	» conglobado.
J. effusus.....	» desparramado.
J. pilosus.....	» peloso.
J. squarrosus	» desparramado.
V.—Lactuca virosa.....	Lechuga ponzoñosa.
Lapsana communis	Lapsana comun.
Linaria vulgaris.....	Linaria vulgar.
Lithospermum officinale....	Mijo del sol.
Lychnis flos-cuculi.....	Flor de cuclillo.
Lycopus europæus..... .	Licopo europeo.
Lysimachia nummularia....	Lisimaquia numularia.
L. vulgaris.....	» vulgar.
Lythrum salicaria.....	Salicaria.
Malva (género).....	Las malvas.
N.—Marrubium vulgare.....	Marrubio vulgar.
N.—Melissa nepeta.....	Melisa nepeta.
N.—M. calamintha.....	» calaminta.
N.—Melilotus officinalis.....	Meliloto oficinal.
N.—Mentha aquatica.....	Yerba buena acuática.

N.—M. arvensis.....	Yerba buena arvense.
N.—M. pulegium.....	Póleo.
N.—M. rotundifolia.....	Mastranzo.
N.—M. sylvestris.....	Yerba buena silvestre.
N.—M. viridis.....	» verde.
Mercurialis annua.....	Mercurial ánua.
Muscus (género).....	Los musgos.
Myagrum rugosum.....	Miagro arrugado.
Myosotis scorpioides.....	Miosatide en forma de escorpion.
M. lappula.....	» lapula.
M. palustris.....	» palustre.
Nardus stricta..	Nardo apretado.
Nepeta cataria	Yerba gatera.
Narcissus (género).....	Los narcisos.
V.—Œnanthe crocata.....	Enante azafranada.
V.—Œ. fistulosa	» hueca.
V.—Œ. pimpinelloides.....	» apimpinelada.
N.—Ononis spinosa.....	Gatuña.
Onopordon acanthium.....	Toba comun.
Orobanche major.....	Yerba tora.
O. ramosa.....	Orobanca ramosa.
Pedicularis palustris.....	Pedículo de laguna.
N.—Phellandrium aquaticum...	Hinojo de agua.
Physalis alkekengi....	Vejiguilla de perro.
N.—Pinguicula vulgaris.....	Tirafia.
Potentilla anserina.....	Potentila anserina.
P. reptans.....	» cinco en rama.
N.—Polygonum persicaria.....	Persicaria.
Prunella vulgaris..... .	Prunela vulgar.
Pteris aquilina...	Helecho hembra.
V.—Ranunculus aconitifolius...	Ranúnculo con hoja de acónito.
V.—R. acris.....	» acre.
V.—R. auricomus.....	» penacho de oro.
V.—R. bulbosus.....	» bulboso.
V.—R. ficaria....	» ficaria.
V.—R. flammula.....	» flámula.
V.—R. lanuginosus..	» lanudo.
V.—R. lingua.....	» lengua.
V.—R. polyanthemos...	» de muchas flores.
V.—R. sceleratus.....	» malvado.
N.—Rhinanthus cristagalli.....	Rinanto cresta de gallo.
Salvia officinalis.....	Salvia oficinal.
S. pratensis.....	» pratense.

S. sclarea.....	Salvia esclarea ó amaro.
S. sylvestris.....	» silvestre.
Sambucus ebulus.....	Yezgo.
Sanicula europæa.....	Sanicula de Europa.
Saponaria officinalis.....	Jabonera oficinal.
Scabiosa arvensis.....	Escabiosa arvense.
S. succisa.....	» de raíz despuntada.
Scandix anthriscus.....	Escandice antrisco.
Schœnus albus.....	Esqueno blanco.
Scirpus lacustris.....	Cirpo lacustre.
S. palustris.....	» palustre.
N.—Scrophularia aquatica.....	Escofrularia acuática.
N.—Scr. nodosa.....	» nudosa.
N.—Sedum acre.....	Siempreviva menor.
N.—S. sexangulare.....	Sedo de seis ángulos.
Senecio aureus.....	Senecio dorado.
S. jacobæa	» jacobeo ó Luzon.
S. paludosus.....	» de lagunas.
S. vulgaris.....	» vulgar.
Serapias lingua.....	Serapia alenguada.
Serratula arvensis	Serratula arvense.
S. tinctoria...	» de tinte.
Sison verticillatum..	Sison verticilado.
N.—Sium angustifolium.....	Berraza de hoja angosta.
N.—S. inundatum.....	» inundada.
N.—S. latifolium.....	» de hoja ancha.
Solanum dulcamara.....	Solano dulcamara.
S. nigrum.....	» negro ó yerba mora.
Stachys palustris...	Estaquide palustre.
Simphytum officinale.....	Sínfido oficinal.
Teucrium scordium.....	Escordio.
N.—Thalictrum minus.....	Talictro menor.
Tordylium maximum.....	Tordillo máximo.
Tussilago farfara.....	Tusilago ó uña de caballo.
T. petasites.....	T. sombrerera.
Urtica dioica.....	Ortiga mayor.
Valeriana calcitrapa.....	Valeriana calcitrapa.
Verbascum blattaria.....	Gordolobo blattaria.
Veronica beccabunga.....	Veronica becabunga.
N.—Viola canina.....	Violeta canina.
Xanthium spinosum.....	Santio espinoso.
X. strumarium.....	Bardana menor.

Comparada esta segunda lista con la primera, se ve la preponderancia de las plantas inútiles y dañinas sobre las útiles, y de consiguiente el esmero que debe tenerse en extirparlas. Afortunadamente las plantas dañinas son las ménos y pertenecen á familias muy conocidas, principalmente á las ranunculáceas y umbelíferas; vegetan en sitios caracterizados y aislados, por cuya razon no es difícil deshacerse de ellas.

No sucede lo propio con las plantas inútiles, que, ocupando grandes superficies, se apoderan con la mayor facilidad del terreno, contribuyendo en alto grado á disminuir el aprovechamiento de las que suministran al ganado un alimento sano.

CAPÍTULO XXI.

RIEGO DE LOS PRADOS.

IDEAS GENERALES Y PRINCIPIOS FUNDAMENTALES.

Indicamos en el capítulo anterior que, bajo el punto de vista de la produccion pratense, podíamos considerar dividido el territorio de la Península en dos grandes regiones: la primera, caracterizada por la permanencia de los prados naturales durante la totalidad del período anual, comprende, en términos generales, la prolongada faja cuyas aguas vierten al mar cantábrico, y las montañas y los valles elevados de las provincias septentrionales que corresponden á las vertientes lusitánica y mediterránea; la segunda, constituida por la casi totalidad del territorio de las demás provincias, se distingue por la desaparicion anual de la vegetacion pratense, agostada al principiar la estacion calurosa por los rigores de una atmósfera ardiente y de un suelo desprovisto de frescura.

Atendidas las condiciones hidrográficas de nuestro suelo, el riego artificial debe desempeñar en cada una de estas regiones una mision enteramente distinta. En la primera region, que podemos llamar de los prados naturales permanentes, conviene estudiar los riegos bajo el punto de vista de su influencia en la mayor produccion de yerbas y pastos en las diversas épocas del año; y en la segunda, sólo atendiendo al aumento de productos que un bien entendido riego puede suministrar durante el período que las condiciones naturales

de suelo y clima señalan al desarrollo de la vegetacion pratense.

Pero ántes de exponer el criterio que en cada region debe presidir á la aplicacion del riego, estudiaremos brevemente las bases en que dicho criterio debe fundarse, segun los caracteres diferenciales que á dichas regiones distinguen.

Al ocuparnos en el CAPÍTULO II de las funciones que desempeña el agua en la vida de las plantas, hemos tomado en consideracion los elementos químicos que la constituyen en estado de pureza, las sustancias gaseosas y sólidas que puede llevar en disolucion, y las partículas tenues suspendidas en su masa.

La accion que todas estas sustancias ejercen en el organismo vegetal varía con las estaciones, puesto que figurando el calor y la luz en primer término entre los factores de la energía orgánica, la actividad de las funciones de los sistemas aéreo y radicular, ó sea de las hojas y tallos y de las raíces, ha de variar con la temperatura de las aguas, con la de la atmósfera ambiente y con la accion más ó ménos intensa y prolongada de los rayos solares.

Riegos de invierno. El período invernal, caracterizado por la paralizacion de la actividad vegetativa, cuyos efectos se limitan casi exclusivamente al desarrollo de las raíces, puede realmente considerarse como preparatorio para la elaboracion de los alimentos, que, al reproducirse más tarde el movimiento orgánico, contribuyen á comunicarle mayor energía.

En los países en que los prados permanentes constituyen uno de los más importantes elementos de la produccion agrícola, y en que, por lo mismo, ha rayado á mayor altura la perfeccion de su cultivo, los riegos de invierno no tienen comunmente por objeto facilitar el crecimiento inmediato de la yerba, ni proveer al suelo de una humedad que le suministran con exceso el agua meteórica y la saturacion del ambiente. Dichos riegos se reducen á hacer discurrir sobre las praderas una capa de agua generalmente de poca altura, in-

cesantemente renovada durante un largo período de tiempo, y cuyas intermitencias son tanto ménos frecuentes cuanto más rudo es el clima, ó lo que es lo mismo, cuanto ménos permite la inclemencia del tiempo la meteorizacion directa del suelo y de la vegetacion herbácea. El agua en movimiento resguarda en cierto modo el suelo del enfriamiento excesivo que produce la irradiacion nocturna: el aire y los gases disueltos modifican los elementos nutritivos del suelo: los principios fertilizantes orgánicos ó inorgánicos que en disolucion ó en suspension contiene, preparan por su deposicion el alimento futuro, y la cantidad de líquido que al riego de la pradera se destina, guarda proporcion con las funciones físicas que tiene que desempeñar, y con la riqueza en sustancias alimenticias de que se halla provista.

Riegos de verano. Los riegos de verano desempeñan en el desarrollo de la vegetacion pratense una mision distinta. Al elevarse la temperatura renace la actividad en el organismo de las plantas; por una parte los períodos de sequía reducen con frecuencia la frescura del suelo á un límite inferior al que exigen las necesidades de la vegetacion herbácea, y por otra el sistema foliáceo no puede sufrir una inmersion tan prolongada como el radicular, puesto que su mision bajo la influencia de los rayos solares es la de exhalar y no la de absorber; de modo que los riegos de verano, más ó ménos frecuentes segun el suelo y el clima, no pueden tener al carácter de continuidad que distingue á los de invierno. El agua en ese caso obra á la vez como alimento, como disolvente y vehículo de los principios fertilizantes del suelo, y como estimulante, si al mismo tiempo posee una temperatura algo elevada y superior á la de la capa vegetal, agotándose más rápidamente que en invierno sus principios nutritivos por efecto de una asimilacion orgánica más activa.

El riego de verano no es considerado comunmente en Francia, Inglaterra y Alemania como reparador, más que en cuanto suple la insuficiencia ó la falta de oportunidad del agua meteórica para dar al suelo la conveniente frescura y

facilitar la asimilacion de los principios nutritivos que, como residuo no aprovechado, dejó en el suelo la primera cosecha obtenida en los meses de Junio á Julio, á ménos que se haga concurrir al éxito de la segunda cosecha el oportuno empleo de abonos, ó que las aguas de riego posean propiedades fertilizantes excepcionales.

Agotamiento de las propiedades fertilizantes de las aguas de riego. La experiencia pone de manifiesto un hecho importante relativo al riego de las praderas, en virtud del cual pierde el agua sus propiedades fertilizantes á medida que va siendo mayor el trayecto que sobre aquellas recorre. Este principio, admitido en términos generales, nada tiene de particular, y lo hemos hecho ya constar al ocuparnos en el CAPÍTULO III de la influencia que ejerce la naturaleza del agua en la vegetacion y en los diversos cultivos, y se revela con caracteres bastante claros en las indicaciones que en otra ocasion hemos hecho acerca de las diferencias entre el riego con aguas *vivas* y el que se da con aguas *muertas*, ó procedentes de las filtraciones ó sobrantes del mismo terreno regado.

Algunos autores han querido, sin embargo, fijar el límite pasado el cual deben desecharse las aguas para el riego de las praderas inferiores, ó en otros términos, el máximo trayecto que sobre la pradera puede recorrer hasta el agotamiento de sus propiedades reparadoras. Desde luégo se comprende que los términos de la cuestion son sumamente vagos y que existirá una multitud de causas que influyan en el resultado, modificando considerablemente la cifra que represente la medida de aquel trayecto.

Suponiendo un prado cuya pendiente sea moderada y próximamente uniforme, y que el agua se vierta formando una capa delgada, continua, incesantemente renovada y uniformemente distribuida, afirman los autores franceses que la parte superior de la pradera reverdece ántes que las inferiores, y que en las partes más bajas, ni la vegetacion suele ser tan precoz, ni las yerbas son comunmente tan finas y nutri-

tivas; y explican el fenómeno diciendo que el agua está *desengrasada* ó que ha agotado sus principios fertilizantes. El trayecto en que el fenómeno se presenta con caracteres bastante sensibles para que haya interés en desechar en los riegos sucesivos el agua usada en las anteriores, varía entre límites muy distantes: tanto que miéntras que unos lo fijan en un número de metros que no llega á diez, otros lo hacen ascender á algunos centenares.

A nuestro juicio, el fenómeno es bastante complejo y puede, por lo mismo, depender de diferentes causas. Si se supone, por ejemplo, que, estando cubierta la pradera por una capa de hielo, discurre el agua por debajo de ésta, indudablemente los efectos de la temperatura del líquido se dejarán sentir con mayor intensidad en la parte superior de la pendiente por no haberse enfriado por el contacto con las porciones más bajas de la capa de hielo; y es natural que se adelante en dicho punto el desarrollo del césped, expuesto á la influencia de los agentes exteriores ántes de que disfruten de igual beneficio las porciones inferiores de la pradera.

Puede tambien contribuir al mismo resultado la mayor cantidad de principios nutritivos abandonados por las aguas en la parte superior de la pendiente, y por fin, es natural que ejerza una grande influencia la mayor facilidad del desagüe de las porciones superiores, y la más pronta y duradera meteorizacion, tanto del suelo como del césped en las partes altas, puesto que en las intermitencias del riego quedan éstas más pronto saneadas. En efecto, las aguas que desde arriba se van filtrando por el raigambre del césped, ó al través de la capa vegetal, obedeciendo en su descenso á la accion de la gravedad, van dejando libres los intersticios en los puntos altos ántes que en las porciones inferiores de la pradera, y ya se sabe que el exceso de humedad, cuando la vegetacion se hace más activa por un aumento de temperatura, se opone al desarrollo de las yerbas útiles, favoreciendo en cambio el de otras reconocidamente inútiles ó nocivas.

Desde luégo se comprende que esas influencias podrán

tener su importancia cuando para el riego se disponga de un gran caudal de agua, fenómeno desgraciadamente poco comun en nuestro país, áun tomando en cuenta las épocas del año en que el gasto de los rios suele ser más crecido.

Influencia de la pendiente. La inclinacion del suelo y la velocidad consiguiente del agua parecen ejercer una influencia notable en la absorcion por el terreno de los principios fertilizantes que aquella contiene. En efecto: examinada detenidamente una pradera beneficiada por los riegos de invierno, tal como se practican en los países que ántes hemos citado, se observa que, en igualdad de circunstancias, los sitios en que la pendiente es más pronunciada se distinguen por la buena calidad de la yerba, miéntras que, por el contrario, en las porciones de la pradera en que la pendiente es insensible posee el césped peores condiciones, áun cuando el agua reuna buenas circunstancias y sea el suelo suficientemente permeable. Si el suelo es poco poroso, ofrecen al poco tiempo esas superficies planas el aspecto y la vegetacion que caracteriza á los prados pantanosos. Por más que algunos autores hayan querido atribuir una virtud dinámica especial á la velocidad de las aguas, creemos que basta para explicar esa influencia la mayor facilidad con que se obtiene el desagüe de las praderas inclinadas en los períodos de intermitencia del riego.

La pendiente generalmente considerada como más conveniente para las praderías regadizas es la de 4 á 5 por 100: las superiores á 5 centímetros por metro tienen el inconveniente de dificultar la distribucion de las aguas por medio de las caceras trasversales, fácilmente desmoronables por la fuerza erosiva desarrollada, así como de poner obstáculos á la comodidad de la siega y de la recoleccion del heno. Esto no obsta, sin embargo, para que se puedan aprovechar para prados naturales áun las pendientes más abruptas, puesto que una de las ventajas de este cultivo es la facilidad con que se amolda á todos los accidentes del terreno y á los más variados relieves de su superficie.

Los inconvenientes de una pendiente escasa se ponen de manifiesto considerando que, para evitarlos, se ha ideado un método de riego, de que más adelante nos ocuparemos, muy usado en las praderas llanas de Alemania, que consiste en sustituir á la superficie natural del suelo una serie de planos inclinados en zig-zag ó formando doble arriate, cuyo procedimiento exige un gran movimiento de tierras y un crecido coste de mano de obra.

Influencia de la temperatura de las aguas. Perfectamente comprobada la influencia de la temperatura en el desarrollo de la vegetacion, claro es que deberán favorecer la actividad orgánica tanto la templanza de la atmósfera ambiente como la del agua misma empleada en el riego, y que podrá retrasarla, suspenderla y hasta producir alteraciones nocivas al organismo vegetal, segun el período en que se encuentre, el uso de aguas muy frias, tales como las que proceden directamente del derretimiento de las nieves sin haber sido caldeadas por un embalse previo á su aplicacion, ó sin haber recorrido un largo trayecto para ser regeneradas por la accion del sol y del aire.

Efectos del riego durante las heladas. Durante el invierno, la capa de agua corriente que cubre una pradera constituye un manto protector contra los efectos de un frio excesivo, miéntras que su propia temperatura se conserva superior á la de congelacion. Cuando el frio es muy intenso y la irradiacion terrestre se halla favorecida por una atmósfera despejada, suele formarse una lámina de hielo en la superficie del agua, la cual, no llegando al césped, permite que ésta circule por debajo, favoreciendo el desarrollo del raigambre. Pero, haciéndose persistente el frio, puede llegar á helarse la totalidad del agua, en cuyo caso conviene suspender el riego, con el fin de evitar que, aumentando sucesivamente el grueso de la capa de hielo, sobrevenga á la larga la destruccion del césped, asfixiado por su falta de contacto con el aire atmosférico libre ó disuelto en el agua. El riego continuo durante la primavera con un caudal sufi-

ciente de agua que no sea excesivamente fria, evita los efectos de las heladas tardías, que pueden llegar á destruir los brotes tiernos de la yerba, cuyo desarrollo se haya iniciado al despertar la vegetacion de su letargo de invierno.

Marcitas ó prados de invierno en Lombardía. Se da en Lombardía el nombre de *marcita* á una pradera casi constantemente cubierta durante el invierno de una capa de agua corriente, cuya temperatura es por lo ménos de 4 ó 5 grados, y frecuentemente de 8 á 10. El tratamiento de esos prados de invierno, que son bastante comunes al pié mismo de los Alpes, exige cuidados minuciosos, sin los cuales se corre grave riesgo de comprometer el éxito del cultivo. Se aprovechan todos los momentos en que el tiempo se presenta bonancible para suspender la continuidad del riego y desaguar la pradera para su meteorizacion conveniente, sin perjuicio de volverla á inundar por la noche cuando se conceptúa probable la helada. Gracias á este sistema, la yerba vegeta perfectamente durante todo el invierno.

Miéntras que las raíces y la base de los tallos están bañados por una capa de agua relativamente tibia, los órganos aéreos de las gramíneas no experimentan los efectos de las heladas, salvo en el caso excepcional de un frio excesivo, obteniéndose de este modo en la estacion más fria del año dos cortes de un forraje verde sumamente apreciado en dicha época, y principalmente destinado á la alimentacion de las vacas de leche.

Las condiciones de éxito de esos prados de invierno dependen de las circunstancias siguientes: primera, de la temperatura relativamente elevada del agua, que en las mejores marcitas no procede de los canales sino de las fuentes inmediatas á la pradera; segunda, de la division de la pradería en un gran número de parcelas de pequeña superficie, cada una de las cuales recibe directamente la cantidad de agua que le corresponde, con lo cual no se halla expuesta á una gran superficie de enfriamiento; tercera, de la renovacion incesante á que se halla sometida la capa de agua,

cuyo espesor, que no suele bajar de 2 centímetros, y cuya velocidad, debida á la inclinacion que se da á la pradera, determinan un volúmen considerable en la unidad de tiempo.

No hay que perder de vista que las aguas de fuente conservan en las inmediaciones de ésta, durante todo el año, una temperatura casi constante, y que, relativamente tibias en invierno, son, por el contrario, frias en verano. Por esta razon, cuando en Lombardía se quiere sacar de las marcitas todo el partido posible, suelen éstas regarse en verano con el agua de los canales, caldeada por el largo trayecto que recorre expuesta á la accion directa de los rayos solares.

En las marcitas se reproduce el fenómeno comun á todas las praderas que suministran dos cosechas, y consiste en que la de invierno perjudica en cantidad á la que se obtiene en verano; calculándose que las mejores marcitas no dan en esta última estacion más que las tres cuartas partes del rendimiento de las praderías regadizas ordinarias. Esta disminucion de productos está, sin embargo, compensada por el mayor precio que adquiere el forraje en la estacion en que es más difícil adquirirlo.

Las marcitas son praderas de carácter transitorio cuya duracion suele ser de tres años. Se siembra ordinariamente en ellas un cereal que sirve de planta protectora mezclado con el *lolium perenne* y el *trifolium pratense*. En las marcitas de los alrededores de Lodi se han llegado á mantener 50 vacas en una propiedad de 15 á 16 hectáreas.

Cantidad de agua necesaria para el riego de los prados. Una de las cuestiones más interesantes bajo el punto de vista del establecimiento de nuevos riegos, es la que tiene por objeto determinar la cantidad de agua que estos necesitan. Para la resolucion de este problema, aplicado á la cria y cultivo de los prados permanentes, además de las causas generales de indeterminacion que en el CAPÍTULO III hemos indicado, hay necesidad de tomar en cuenta otras varias de índole puramente particular y especial á este cultivo. Podrá tratarse, por ejemplo, de praderas ya establecidas, ó

de la creacion de otras nuevas, y en unas y otras podrá versar la cuestion sobre los riegos de invierno ó sobre los de verano.

Si dada una pradera se quiere determinar la cantidad de agua necesaria para su conservacion y conveniente desarrollo, la permeabilidad del suelo y del subsuelo, la pendiente, la mayor ó menor riqueza de las aguas en principios fertilizantes, el método de riego que se adopte y las condiciones meteorológicas locales hacen variar el volúmen empleado entre límites que ofrecen diferencias enormes.

Los autores alemanes dan tanta importancia á los riegos de invierno, y en sus efectos atribuyen un papel tan principal á las propiedades fertilizantes del agua, que formulan los fenómenos de la vegetacion pratense por medio del siguiente aforismo: *Wasser macht Gras, aber die Sonne lockt es nur aus dem Boden.* (El agua produce la yerba, pero únicamente el sol la hace brotar de la tierra). Es indudable que de los efectos benéficos que en los climas de Alemania se atribuyen á los principios fertilizantes del agua hay que descontar una gran parte para la accion puramente física que los considerables volúmenes empleados ejercen en la conservacion del césped, ó sea en la proteccion que le prestan contra las temperaturas excesivamente bajas.

Tratándose de los métodos de riego que suponen la renovacion continua del agua que, formando una capa más ó ménos delgada, corre por la pradera, los autores alemanes, en lugar de referir el volúmen á un tipo por segundo, suelen representarlo por un prisma líquido, cuya base es la superficie regada y cuya altura es la correspondiente á la cantidad de agua que discurre por la pradera durante un período de *veinticuatro horas.*

En el Norte de Alemania se adopta para un riego completo y fertilizante un volúmen continuo de 120 litros por segundo y hectárea, ó sea una capa de agua de $1^{m},03686$ al dia en la misma superficie. En la Alemania del Centro y del Sur se admite una altura de $0^{m},36$ á $0^{m},450$ por dia para un

riego perfecto; de $0^m,30$ para un riego muy bueno, y de $0^m,15$ para uno suficiente; alturas que equivalen respectivamente á un gasto continuo de 51, 34 y 17 litros por segundo y hectárea. Dicho se está que estos volúmenes corresponden á los riegos llamados de invierno.

En Francia los tipos citados por los autores para los riegos de invierno varian tambien entre límites muy remotos. Segun las observaciones practicadas por M. Hervé-Mangon, en dos distintas praderas de los Vosgos, respectivamente regadas con volúmenes de 700 y 1.700 litros por segundo y hectárea, tomando en cuenta la periodicidad del riego en dicha region durante la temporada de invierno, y reduciendo el caudal empleado á un gasto continuo durante seis meses, resultan volúmenes respectivamente de 70 y 264 litros por segundo y hectárea.

En cambio, para los riegos de verano cita M. Nadault de Buffon un gasto continuo de ¼ de litro por segundo y hectárea, y el Conde de Gasparin afirma que para el clima de Vaucluse basta un litro por segundo para el riego de la misma superficie y cultivo.

Para explicar de algun modo estas enormes diferencias, recordaremos los caracteres diferenciales entre los riegos de invierno y los de verano: los primeros tienen por objeto proporcionar alimento y abrigo á la vegetacion herbácea, y los segundos tienden por lo comun á conservar el suelo en un estado de humedad suficiente para que las funciones del organismo vegetal no sufran entorpecimiento por la falta de vehículo de los principios asimilables.

El empleo de grandes volúmenes de agua será sobre todo conveniente cuando se trate de crear nuevas praderas en sitios estériles, arenosos ó pedregosos, en que se quiera hacer concurrir á la formacion del suelo vegetal la capa de légamos que en ellos depositan las aguas turbias.

En España no se ha practicado, que nosotros sepamos, experimento alguno con objeto de deducir la cantidad necesaria para el riego de los prados naturales en ninguna de las

dos grandes regiones en que, bajo el punto de vista de este cultivo, hemos considerado dividido el territorio de la Península; pero desde luégo podemos asegurar que en ninguna parte se aplican volúmenes tan considerables como los que para riegos de invierno hemos citado respecto de Francia y Alemania.

Régimen de los rios de España bajo el punto de vista de la aplicacion de sus aguas al cultivo pratense. En la region cantábrica, el corto trayecto que recorren los rios desde su orígen hasta su desembocadura, hace que su caudal, ái bien permanente por razon del clima, sea generalmente escaso, salvo en los momentos de grandes turbonadas. Las grandes pendientes que suele afectar el thalweg de los rios de dicha region, lo escarpado de sus márgenes y la profundidad de los respectivos cauces, son otros tantos obstáculos que se oponen á lás derivaciones; así es que los prados naturales que se riegan, sin ser muy considerables en número y extension, no suelen utilizar más agua que la de los arroyuelos, de los manantiales ó la de las acequias destinadas en primer término al movimiento de artefactos. Claro es que con estas condiciones la propiedad fertilizante de las aguas, á que se atribuye tanta importancia en los países ántes mencionados, desempeñará en dicha region un papel muy secundario, y que irremisiblemente tendrá que confiarse la reparacion de las pérdidas que experimente el suelo en principios alimenticios al abono que el mismo ganado suministre, á los demás despojos orgánicos y á los mejoramientos de orígen inorgánico que la respectiva calidad de las tierras exija.

El carácter distintivo de la inmensa mayoría de las corrientes de agua que surcan el territorio de la Península es la variabilidad suma de su régimen. Secas muchas de ellas en verano, ó reducidas á caudales insignificantes, ofrecen en invierno y primavera volúmenes considerables, precisamente cuando las aguas tienen poca aplicacion á la generalidad de los cultivos agrícolas, y cuando, hallándose carga-

das de limo, podrian proveer abundantemente de principios nutritivos á los pastizales, esquilmados por una vegetacion espontánea, raquítica y siempre decadente por la falta de abonos reparadores.

En el Centro y Mediodía de España, la aplicacion de las aguas invernales á la creacion y mejora de las praderas de invierno daria como resultado inmediato el aumento de la riqueza pecuaria, facilitando al propio tiempo la adquisicion de abonos, sin cuyo auxilio no cabe prosperidad en la produccion agrícola.

Sin proscribir en absoluto los riegos de verano, y nos referimos á los posteriores á la siega de Junio ó Julio, en los sitios en que por excepcion pudiera disfrutarse de aquel beneficio, creemos que en general habria ventaja en sustituir los prados naturales por otro cultivo agrícola más intenso, ya tuviera por objeto la produccion de forrajes, ya otra distinta que estuviese en armonía con las necesidades locales y con las condiciones naturales de la comarca.

Muchos de los terrenos de las provincias del Centro y Mediodía de España, abandonados á una producion herbácea espontánea, deben tan sólo considerarse como prados naturales en el concepto de que las circunstancias económicas del país, y otras dependientes de distintas causas, no permiten una explotacion más ventajosa, que harian posible las condiciones naturales de suelo y clima. En cambio, en las provincias del Norte existe una verdadera region de prados permanentes, con carácter especial y en cierto modo absoluto, puesto que, por sus condiciones meteorológicas y topográficas, parece destinada por la naturaleza á la produccion de yerba y á la cria del ganado. En dicha region, á pesar de la humedad del clima, poseen los riegos una importancia de primer órden en todas las estaciones, si se toma en cuenta la diversidad de situacion, altitud y exposiciones de las praderas.

Combinando el riego con un bien entendido sistema de abonos, aumenta considerablemente la cantidad de heno de

primer corte y el de la *otoñada* ó *retoñada;* segándolo ántes de la granazon se aprovechan mejor sus principios nutritivos; reservando una porcion de la pradera para obtener semilla, se puede asegurar la reproduccion de las plantas ánuas; sometiendo, en una palabra, las praderías á un buen tratamiento, puede aumentarse considerablemente el número de cabezas *de cria* para una determinada superficie; y si se aprovechan además los recursos naturales que ofrecen los *puertos* altos y las elevadas mesetas para el pastoreo de verano, será posible reservar mayor cantidad de heno para la época en que los rigores del clima exijan la manutencion del ganado á pesebre. Si á la mejora de los prados naturales acompaña la creacion de los artificiales en las localidades á propósito, á las ventajas de la *cria* pueden agregarse las de la *recria*, obteniéndose como resultado final la prosperidad y engrandecimiento de la riqueza pecuaria, la mejora de las mismas praderas con el abono producido, y el progreso del cultivo agrario propiamente dicho, destinando el abono excedente á las vegas bajas que á dicho cultivo se presten.

Nos limitamos por el momento á hacer estas indicaciones generales, reservándonos el propósito de insistir sobre este tema interesante cuando en el TOMO II reseñemos los caracteres que distinguen al cultivo pratense en cada una de las provincias de la zona cantábrica.

CAPÍTULO XXII.

MÉTODOS DE RIEGO CON APLICACION Á LOS PRADOS.

Para el estudio de los diferentes métodos usados en el riego de las praderas, análogamente á lo que hemos hecho al ocuparnos del riego de los terrenos laborables, prescindiremos de la procedencia de las aguas y las supondremos en su curso por la acequia, desde la cual se distribuyen de una manera inmediata por el terreno regable.

En términos generales podrá considerarse dividida la pradería en una serie de zonas, cada una de las cuales se halla surtida por una cacera principal de alimentacion. Dentro de cada zona constituyen el sistema distributivo una serie de caceras secundarias derivadas de la principal respectiva, y ramificadas á su vez, dando orígen á las *regueras*, inmediatamente destinadas á llevar el agua á toda la superficie cubierta de vegetacion.

Ya se tome en cuenta el agotamiento de los principios fertilizantes del agua, ó ya se atienda tan sólo á la necesidad que la pendiente impone de recoger las aguas que han discurrido por el terreno, y en todo caso para proceder al desagüe del terreno regado, es preciso establecer una nueva red colectora que, ramificándose en un órden inverso al de la anterior, reuna las aguas en una cacera de desagüe, las devuelva á la línea principal de conduccion para su debido aprovechamiento en el riego de las parcelas inferiores, ó las lleve á un azarbe natural constituido por un barranco, arroyo ó línea natural de reunion cualquiera.

Estas disposiciones generales son aplicables á todas las

praderas convenientemente regadas; y las operaciones que tienen por objeto la preparacion del terreno y el trazado de la doble red distributiva y colectora para el debido aprovechamiento de las aguas, constituyen los *métodos de riego*, cuya exposicion sucinta forma el objeto de este capítulo.

Para su más fácil y ordenado estudio, podemos establecer dos grupos principales: segun que el agua cubra la superficie de la pradera, ó alcance tan sólo al extremo de las raíces en virtud de las acciones capilares. En el primer grupo distinguiremos á su vez dos secciones, respectivamente caracterizadas por el estado de reposo ó de movimiento del agua sobre la pradera, conforme se indica en el siguiente cuadro:

MÉTODOS DE RIEGO.

Riego superficial.....	Con aguas corrientes.	1.° Por regueras horizontales.
		2.° Por regueras inclinadas.
		3.° Por caballetes ó por doble arriate.
		4.° Por planos inclinados sucesivos ó por simple arriate.
	Con aguas embalsadas	5.° Por submersion.
Riego subterráneo		6.° Por infiltracion.

Primer método.—Por regueras horizontales.

Consideraciones generales. Este método merece ocupar el primer lugar entre todos los que se usan para el riego de los prados, siempre que las circunstancias del terreno permitan su aplicacion, por reunir la doble ventaja de la uniformidad en la distribucion del agua y la de la economía, tanto en la cantidad de líquido empleado, como en el coste de la mano de obra que la preparacion del terreno exige.

Consiste el método en establecer (fig. 101) en un terreno situado en pendiente una serie de regueras, abiertas en la direccion de las curvas de nivel, que viertan por su borde inferior y en toda su longitud una capa delgada de agua

sobre la porcion de pradera que limitan dos regueras consecutivas. La superior recibe directamente el agua de la cacera principal de alimentacion, cuyo líquido, despues de haberse extendido por la primera faja, es recogido por la re-

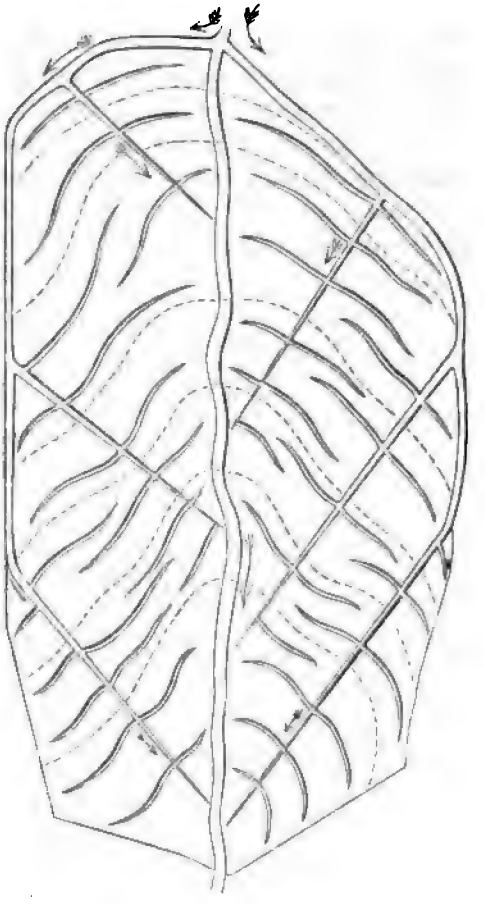


Fig. 101.

guera inferior inmediata, y desparramado á su vez sobre la segunda, y así sucesivamente, hasta que encuentra una cacera de desagüe que la lleva fuera de la pradería, ó la vuelve á emplear de una manera análoga en el riego de otra parcela más baja.

Si para la distribucion del agua no se contara más que con una regata situada en la parte superior de la pradera, por más que aquélla estuviese perfectamente trazada, sólo se regaria uniformemente una pequeña faja inmediata á la misma, puesto que, tendiendo las aguas á buscar el thalweg natural del terreno, quedarian en seco unas porciones, al propio tiempo que resultaran otras regadas con exceso.

La aplicacion de este método exige un terreno situado en pendiente. Segun el Sr. Pareto puede considerarse como mínima la de 8 milímetros por metro; y aunque dicho Ingeniero lo ha aplicado á praderas de una pendiente máxima de 50 por 100, conceptúa como la más conveniente la comprendida entre $0^m,03$ y $0^m,10$ por metro. No imposibilita el uso del método que estamos examinando la falta de uniformidad de dicha pendiente, puesto que las variaciones de ésta sólo se manifestarán por la mayor ó menor separacion en sentido horizontal de las regueras de nivel correspondientes.

El movimiento de tierras necesario para la preparacion del terreno se reduce, en términos generales, á hacer desaparecer las pequeñas prominencias, y á rellenar los huecos en que las aguas no encuentran fácil salida; y si esas desigualdades del relieve revisten cierto carácter de importancia, una observacion atenta permitirá decidir acerca de las ventajas relativas de la regularizacion del terreno ó de la construccion de caceras en terraplen para llevar el agua á las prominencias, y en desmonte para el desagüe de las hoyas que por su configuracion no puedan ser naturalmente saneadas.

Distribucion de las aguas. El trazado de la red distributiva es sumamente sencillo cuando se dispone de un plano del terreno regable acotado por curvas de nivel; pero en la ejecucion hay necesidad de proceder con cierta exactitud si se quieren utilizar todas las ventajas de que el método es susceptible.

La cacera de alimentacion debe tener una pendiente es-

casa, y adaptarse en general á las sinuosidades del terreno: su seccion será proporcionada á la cantidad de agua que tenga que conducir, procurándose que el quijero inferior tenga la altura y las condiciones necesarias para que pueda mantener la línea de flotacion á una altura suficiente sobre el terreno, cuando las circunstancias exijan dividir su trayecto en tramos horizontales por medio de esclusas. Esta disposicion podrá adoptarse cuando las regueras de nivel tengan una gran longitud, puesto que en este caso será imposible obtener un riego uniforme en toda la superficie, no procediendo al riego parcial por medio de grandes zonas sucesivas en el sentido de la pendiente natural del terreno.

Las regueras de nivel llevan la direccion de las curvas horizontales: su quijero inferior, en lugar de terminar en arista viva, presenta un reborde de $0^m,05$ que se forma con el mismo césped procedente de la apertura de dicha línea distributiva, á la cual se da una profundidad de $0^m,15$ á la mitad de la distancia que separa los dos escorredores consecutivos, y de $0^m,30$ en el punto de su union con éstos, con objeto de facilitar el desagüe en las intermitencias del riego. El perfil trasversal generalmente adoptado para las regueras es triangular, con un talud muy tendido en la parte superior del terreno y con una pared vertical en la parte inferior. Los tepes de césped que forman el reborde de la reguera deben dar una línea horizontal, á cuyo fin se apisonan convenientemente hasta el enrase con la línea ideal dada por las cabezas de las estacas, que despues de la nivelacion del terreno deben haberse dejado en los puntos precisos de referencia. Las comprobaciones y rectificaciones del trazado podrá facilitarlas la observacion de los fenómenos que ofrezca la distribucion del agua, cuando por primera vez se introduzca en la pradera.

Ya hemos dicho que el agua que se desborda por una de las regueras fluye por encima de la faja de césped inmediata y va á parar á la reguera siguiente. Esta deberá hallarse tanto más próxima á la anterior cuanto mayor sea la permea-

bilidad del terreno y más pronunciada la pendiente. Segun Pareto, en los terrenos ménos permeables y de pendientes más suaves, la máxima distancia horizontal entre dos regueras consecutivas es de 40 metros, y la mínima, en circunstancias opuestas, no debe bajar de 2 metros. Cuando el terreno ofrezca un relieve irregular, podrá ocurrir que, en los sitios en que la pendiente sea poco pronunciada, la distancia horizontal entre las regueras deje un espacio excesivo, miéntras que éste quede comprendido entre límites convenientes en la porcion del terreno más abrupta; en este caso podrá interpolarse en la faja más extensa una reguera intermedia de longitud adecuada á la porcion de pradera en que lo exija la necesidad de regularizar la distribucion de las aguas.

Sistema colector. En el método de riego que estamos examinando suelen desempeñar los escorredores el doble papel de líneas de distribucion y de desagüe, segun que á la vez se les haga comunicar con la línea de alimentacion y con las regueras, ó segun se disponga el juego de cierres en la forma que exija el saneamiento del terreno.

Los escorredores se trazan por lo comun en el sentido de la máxima pendiente, en cuyo caso las regueras llevan una direccion normal en los puntos de arranque. Suele darse á los escorredores un ancho de $0^m,25$ en el orígen, de $0^m,35$ á $0^m,40$ en el extremo, y una profundidad de $0^m,40$. Es evidente que deberán hallarse tanto más próximos entre sí cuanto mayor sea la pendiente del terreno y más considerable su permeabilidad. Segun Keelhoff, la máxima distancia entre dos escorredores consecutivos debe ser de 50 metros, y Pareto la extiende hasta 80.

Cuando se da el agua á una reguera de nivel se cierran todos los escorredores que con ella comunican por medio de tepes de césped, ó bien con el auxilio de pequeñas compuertas de madera ó de palastro de borde cortante; y cuando se quiere hacer llegar directamente el agua á una de las regueras inferiores que no reciben la suficiente por el desborde

de las que quedan por encima, se disponen las tierras en la forma conveniente, segun puede deducirse de la simple inspeccion de la figura 101.

Conocido el objeto de la cacera colectora ó azarbe, es ocioso que añadamos detalles relativos á su trazado y ejecucion, puesto que las condiciones generales de esta clase de cauces las hemos indicado ya en el CAPÍTULO IX al ocuparnos del estudio de conjunto de los canales de riego.

Coste de la mano de obra. Se admite que trabajando un obrero diez horas diarias puede abrir 100 metros lineales de regueras de nivel ó 150 de escorredores; de modo que, supuesto un jornal de 1,50 pesetas, sale el metro á 0,015 pesetas. Para la determinacion del coste de las demás líneas habria necesidad de entrar en pormenores acerca del trabajo del obrero en el movimiento de tierras, y sobre la teoría de los trasportes, pormenores que pueden estudiarse en los tratados de mecánica aplicada á la construccion.

Segundo método. —Por regueras inclinadas ó en espiga.

Exposicion del método. El tipo de riego más perfecto entre las variadas combinaciones que pueden obtenerse con las regueras inclinadas es el que, tanto en el conjunto como en los detalles, más se aproxima al método de regueras horizontales. Análogamente á lo que hemos indicado para el primer método, las caceras de distribucion se trazan próximamente en el sentido de la máxima pendiente de la pradera, y las de riego toman en ellas orígen, extendiéndose á derecha é izquierda de las mismas, diferenciándose tan sólo en que en vez de afectar formas sinuosas debidas á las ondulaciones del suelo, constantemente normales á la máxima pendiente, suelen trazarse en direccion algo oblicua y rectilínea y con pendientes sensibles, aunque muy suaves. Las caceras distributivas experimentan un cambio brusco de seccion al ramificarse con las regueras, y esa reduccion violenta de dimensiones facilita la introduccion del agua en

dichas regueras, las cuales vierten el líquido por desborde á medida que su seccion se va tambien estrechando desde el orígen hasta el extremo.

Al sistema distributivo, ligeramente reseñado y cuyo detalle pone de manifiesto la simple inspeccion de la fig. 102,

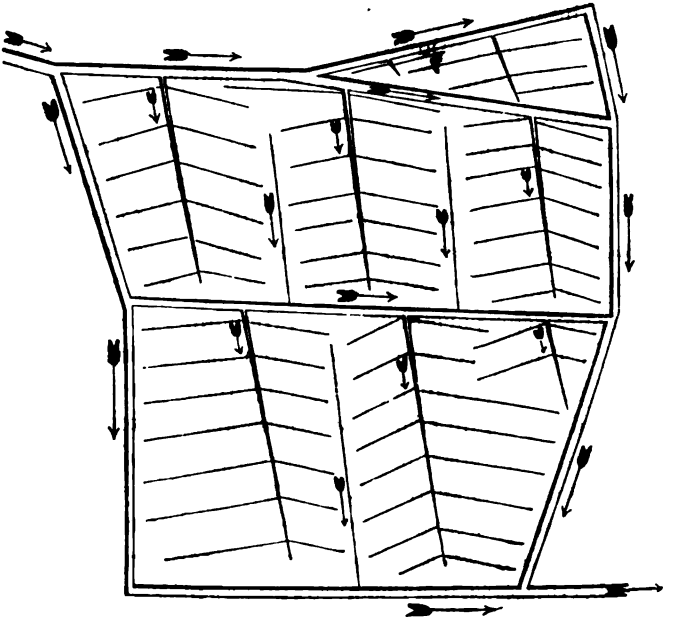


Fig. 102.—Método de riego por regueras inclinadas.

acompaña otro colector formado por azarbes abiertos en las líneas naturales de reunion de la pradera, terminados en una cacera de desagüe, que en ciertos casos, por la poca extension de las parcelas ó por la escasez del caudal disponible, podrán convertirse en nuevas caceras de alimentacion para el abastecimiento de las parcelas inferiores. Estas caceras colectoras, cuando el terreno tenga poca pendiente, facilitarán el desagüe de la pradera y su conveniente meteorizacion, fenómenos cuya importancia hemos demostrado

en el capítulo precedente. Sin embargo, cuando el terreno sea muy permeable y su inclinacion suficiente, podrá prescindirse de los escorredores, bastando para el desagüe la cacera colectora que surca la parte baja de la pradera.

Cuando para la distribucion uniforme del agua no baste el decrecimiento progresivo de la seccion de las regueras, puede facilitarse aquella por tanteo, oponiendo obstáculos al movimiento del agua por medio de tepes de césped ó practicando entalladuras en el punto de la reguera en que se considere necesario.

Ventajas é inconvenientes de este método. El método de regueras inclinadas es más empírico que el anterior y exige ménos conocimientos y menores cuidados para su replanteo. Puede trazarse por simple aforo ocular, ó á lo más exige medios é instrumentos sencillos y de uso fácil para los obreros ó para el mismo cultivador.

Se presta además este método al riego de las superficies limitadas por los contornos más irregulares; permite el empleo de volúmenes de agua variables, y se aplica á las mismas pendientes cuyos límites hemos fijado al ocuparnos del método primero. En cambio, por grande que sea el esmero con que se tracen las caceras, no es posible obtener una distribucion tan uniforme como la que proporcionan las regueras horizontales.

Este método, que podia llamarse *natural* para el riego de los prados de ladera, es el generalmente usado en España, lo mismo en las praderías de Santander y Asturias que en las que hemos visto en la falda del pirineo catalan y en las provincias centrales.

Tercer método.—Por caballetes ó por doble arriate.

Exposicion del método. El método de riego por caballetes, constituidos por dos planos inclinados en forma de tejado, se considera generalmente como el más perfecto bajo el punto de vista de la uniformidad en la distribucion del

agua y del más fácil saneamiento del terreno durante las intermitencias del riego; pero en cambio exige movimientos de tierra tan considerables, que le hacen excesivamente costoso y tan sólo aplicable á las praderas muy llanas sometidas á un cultivo intenso.

Consiste (fig. 103) en sustituir la superficie natural del

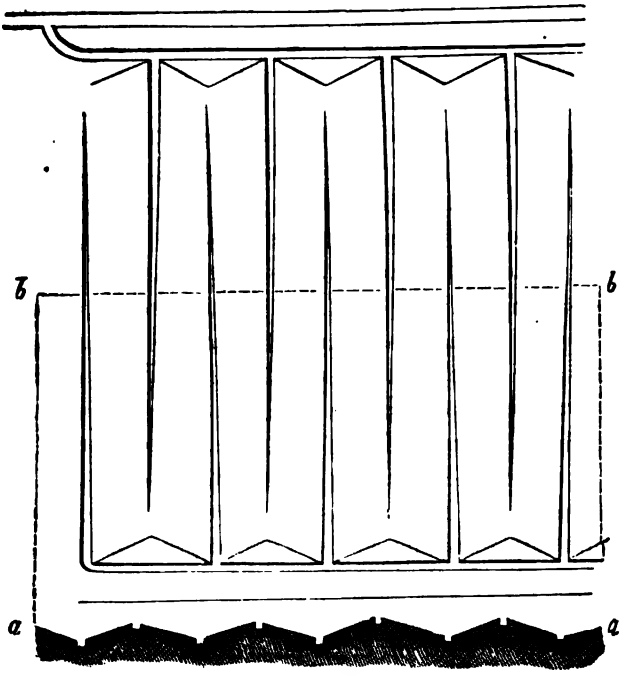


Fig. 103. — Método de riego por doble arriate.

terreno por una serie de caballetes formados por dos planos inclinados ó *arriates,* en cuya arista superior de intersección se abre la reguera de desborde que vierte por ambos lados y en toda su longitud una capa delgada de agua sobre el césped que tapiza los arriates. La cacera de distribucion enrasa con las cimas de los caballetes, ramificándose con las regueras respectivas, y hacen el oficio de azarbes unas pequeñas caceras abiertas en el vértice del ángulo entrante

que forman las mitades correspondientes de dos caballetes consecutivos. Estos se disponen unas veces en sentido de la pendiente natural del terreno y otras en sentido normal á la misma.

La longitud de los caballetes es muy variable, puesto que depende de la configuracion del terreno y de su pendiente. Segun Pareto, esta longitud no debe exceder, en general, de 80 á 90 metros; y cuando la pendiente del terreno es muy fuerte no debe pasar de 40. La anchura varía con la permeabilidad del suelo. Segun M. Nadault de Buffon, este ancho varía en las praderas de Lombardía entre 7 y 50 metros, y segun M. Keelhoff, la anchura de 10 metros conviene á los terrenos arenosos, y la de $16^{m},0$ á las tierras fuertes. Conviene además advertir que un mismo caballete puede tener un ancho variable de uno á otro extremo, cuando la forma del terreno lo exija.

La pendiente de los arriates debe ser, por lo ménos, de $0^{m},01$, y á lo más, de $0^{m},10$ por metro. Generalmente se adopta la media de 5 por 100, á fin de que, no quedando la cima del caballete muy superior al nivel medio del terreno, puedan en lo posible compensarse los desmontes y los terraplenes.

El número de caballetes que forman un tramo regado por la misma cacera de distribucion depende de la inclinacion natural del terreno, y la seccion trasversal de un tramo no suele exceder en la práctica de una longitud de 200 metros.

Las caceras de distribucion ó son horizontales ó afectan pendientes poco sensibles, á lo más de $0^{m},0005$ por metro.

Las regueras de desborde, situadas en las cimas de los caballetes, tienen un ancho de $0^{m},25$ y son generalmente muy poco profundas.

Los escorredores, abiertos en el fondo del surco que forman dos caballetes sucesivos, empiezan á un metro de distancia de la cacera de distribucion, y se les da un ancho de $0^{m},25$, y una profundidad que va aumentando desde $0^{m},20$

en el orígen, hasta $0^{m},25$ en el punto de su confluencia con la cacera colectora.

El método de riego cuyos principales caracteres acabamos de indicar, es de uso frecuente en las praderas bajas de Lombardía, en la comarca de Siegen en Alemania, en algunos puntos de Francia y en los condados más meridionales de Inglaterra; y aunque no puede negarse que posee rasgos de perfeccion que no son comunes á los otros métodos, ofrece el gravísimo inconveniente de exigir para la preparacion del terreno un dispendio excesivo, que no suele bajar de 3.000 reales por hectárea.

Cuarto método.—Por planos inclinados sucesivos.

El método de riego por planos inclinados sucesivos viene á ser una modificacion del anterior, y suele empleársele como

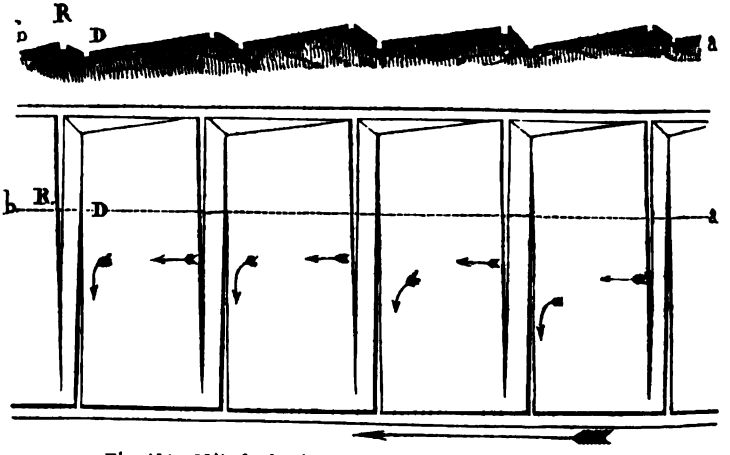


Fig. 104.—Método de riego por planos inclinados sucesivos.

complementario cuando quedan en el terreno porciones demasiado pequeñas para que pueda en ellas construirse el doble arriate, ó cuando, á consecuencia de una pendiente excesiva, no es fácil distribuir el agua uniformemente por los dos planos del caballete completo.

Consiste el método (fig. 104) en disponer el terreno segun

planos inclinados sucesivos. En la parte superior se abre la reguera de desborde *R*, y en la inferior la colectora *D*, la cual se convierte algunas veces en cacera de riego del arriate siguiente, hasta que al final del tramo se reunen todas las aguas sobrantes en la acequia de desagüe, que tambien es susceptible de ejercer en ciertos casos las funciones de acequia de abastecimiento de las praderas inferiores.

Las dimensiones y pendiente de las líneas de distribucion y de desagüe, así como las correspondientes al arriate, no exigen un detalle especial, y pueden fácilmente deducirse de consideraciones análogas á las que hemos hecho al exponer los caracteres del método anterior.

Quinto método.—Por submersion.

Este método aplicado á los prados, no se distingue del que, al ocuparnos de los terrenos laborables, hemos designado con la denominacion de *riego á manta*, más que en ciertos caracteres relacionados con la cantidad de agua necesaria para el riego en ambas clases de cultivo.

Dijimos que la práctica comun del riego á manta de los terrenos laborables de nuestro país se reducia á dejar entrar en las eras la cantidad de agua estrictamente necesaria adecuada á las exigencias del cultivo y á las condiciones de permeabilidad del terreno, y que en general no se abria cacera colectora para dar salida á las aguas que trascurrido un cierto período no hubiesen sido absorbidas ó filtradas por el suelo.

Cuando el método de submersion se aplica al riego de las praderas, la inundacion del terreno conserva mayor carácter de permanencia, y trascurrido un período, siempre más largo que el correspondiente á los terrenos laborables, se abre un boquete (fig. 105) en el caballon inferior de recinto, por el cual se verifica el desagüe de la pradera, pasando el líquido á una cacera inmediata que desempeña el oficio de azarbe, por más que para la parcela inmediata pueda á la vez ejercer

las funciones de cacera de distribucion. La inundacion de las praderas, empleando este método de riego, puede comprender en invierno un período continuo de quince dias y hasta de un mes, y en verano no suele nunca pasar de veinticuatro horas.

Por lo demás, la division del terreno y la distribucion de las aguas por la zona se verifica de una manera análoga á la

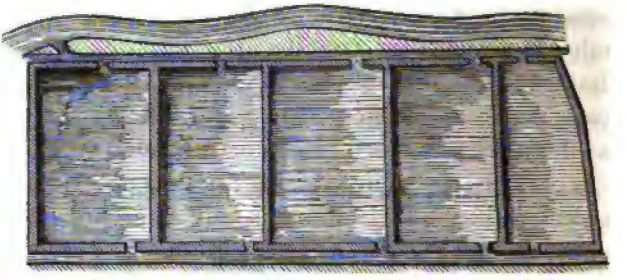


Fig. 105.—Método de riego por submersion.

que en el lugar oportuno hemos indicado, con la sola diferencia de que en los cultivos comunes de regadío suelen suprimirse los escorredores de las distintas eras, miéntras que la presencia del azarbe es indispensable al riego de los prados para facilitar las intermitencias ó la periodicidad de la inundacion.

Es evidente la sencillez de este método, aplicable tan sólo á un terreno plano y sensiblemente horizontal, ó todo lo más á uno muy suavemente inclinado. Si la pendiente fuese algo considerable, habria necesidad de dar una altura adecuada al caballon inferior de recinto; pero en este caso, además de consumirse una cantidad excesiva de agua por los efectos de una mayor carga, no resultaria el terreno uniformemente regado. Generalmente no se inundan las praderas cuya pendiente es mayor de $0^{m},01$ por metro.

Las ventajas del método de submersion dependen de su sencillez, de la mayor facilidad con que permite aprovechar los sedimentos que dejan las aguas turbias, siempre que por

su naturaleza ó cantidad no puedan causar perjuicios, y del servicio que presta destruyendo con la inundacion los ratones, grillotalpas y demás animales nocivos que no pueden sufrir una estancia muy prolongada en el agua.

Sexto método.—Por infiltracion.

Si se supone que el agua circula por caceras más ó ménos distantes entre sí, segun la menor ó mayor porosidad del suelo, fácilmente se concibe que la porcion de terreno inmediata á cada una de ellas absorberá una cantidad de agua más ó ménos considerable, y que en ciertas circunstancias llegará, por efecto de la capilaridad, á ponerse en contacto con la vegetacion herbácea, sin necesidad de que llegue el líquido á cubrir su superficie. Claro es que el humedecimiento del terreno no podrá obtenerse por este medio de una manera uniforme, ni las más de las veces en la medida que las necesidades de la vegetacion reclamen; y este es el motivo por qué el método que llamamos *por infiltracion* tiene un uso muy limitado, y por qué generalmente se aplica tan sólo á las praderas elevadas, á las que no se puede llevar el agua por otro medio más expedito.

En España suele adoptarse este método para el riego de las viñas, ya con el objeto de aprovechar las aguas de lluvia por medio de zanjas abiertas en el sentido de las curvas de nivel, ya haciéndolas comunicar con una cacera, cuando se dispone de agua de riego, á fin de que el líquido ejerza su accion á mayor profundidad y conserve el terreno la humedad por más tiempo.

En este último caso las aguas que se introducen en las zanjas pueden permanecer en ellas en un estado de reposo, ó dar lugar á una corriente, para lo cual se establece la comunicacion necesaria entre los diferentes escalones de la serie.

CUARTA PARTE

MEJORAMIENTOS

CAPÍTULO XXIII

SANEAMIENTOS

Generalidades. La necesidad de suministrar á las tierras por medio del riego artificial las aguas indispensables para la prosperidad del cultivo agrícola, se revela en nuestro país por caracteres mucho más generales y apremiantes que la de privarlas de una humedad excesiva y perniciosa á sus condiciones de productibilidad. En efecto; al reseñar en el CAPÍTULO I las grandes zonas en que bajo el punto de vista de la humedad del clima podia considerarse dividida la Península, hemos visto que las lluvias, en general escasas y mal distribuidas, y la sequedad del ambiente, favorecida por una elevada temperatura, determinan en una gran parte del territorio, y durante un largo período del año, la desecacion del suelo vegetal y el agostamiento de las plantas algo exigentes en materia de humedad, á ménos de poder recurrir al auxilio del benéfico agente líquido desparramado sobre la superficie del terreno por medios artificiales. Sin embargo, como en nuestro país existe una zona que con razon puede figurar entre las más lluviosas de Europa, y como ocurre además en circunstancias excepcionales, y por las

razones que luégo indicaremos, que ciertos terrenos retienen por más ó ménos tiempo mayor cantidad de agua que la conveniente al cultivo á que por otras condiciones naturales de suelo y clima pudieran prestarse, vamos á ocuparnos brevemente de los diferentes procedimientos que pueden adoptarse para su desecacion ó *saneamiento*.

Distintos casos de terrenos excesivamente húmedos. Es un fenómeno bastante frecuente en el establecimiento de los nuevos riegos el que, reconociendo por causa el uso inmoderado de las aguas ó la falta de método en la apertura de las líneas distributivas y colectoras, se revela por encharcamientos perniciosos á la salubridad y al cultivo, y por la pérdida para la produccion de superficies considerables, condenadas á una esterilidad completa. Podríamos citar en corroboracion de nuestro aserto miles de hectáreas comprendidas en la zona dominada por el moderno canal de Urgel que se hallan en semejante caso.

Ya hemos indicado en el lugar oportuno cuáles debian ser los volúmenes de agua que en nuestros climas podian asignarse á la unidad de superficie segun la naturaleza del cultivo, cuál la periodicidad del riego, y qué circunstancias podian introducir modificaciones en su cantidad y frecuencia.

Al reseñar en conjunto la naturaleza y disposicion de las líneas distributivas y de desagüe, que constituyen el sistema completo de riegos por medio de canales, así como al estudiar los métodos de riego aplicables á los distintos cultivos, hemos visto la relacion necesaria que en cada caso debia existir entre las líneas distributivas y las colectoras para que el riego surtiera todo su efecto. De consiguiente, si los perjuicios que experimenta el terreno por una humedad excesiva proceden de una mala aplicacion de las aguas desviadas de su cauce natural para el desarrollo del cultivo, no habrá más que atenerse, para remediarlos, á las reglas generales oportunamente expuestas; es decir, será preciso, segun los casos, ó no dejar penetrar en la parcela mayor cantidad de agua que la necesaria, ó establecer un sistema

de azarbes que conduzcan las aguas sobrantes del riego á una línea natural de desagüe, ó las utilicen á su vez en debida forma para el riego de los terrenos inferiores.

Descartando, por lo tanto, el caso de una humedad perjudicial, dependiente de una aplicacion defectuosa de las reglas por que debe regirse la distribucion y aprovechamiento de las aguas, pasaremos á ocuparnos de los medios de facilitar el desagüe de los terrenos que *por sus condiciones naturales* ofrezcan aquel carácter, que en determinados casos puede llegar á ser incompatible con el cultivo.

Los terrenos excesivamente húmedos en virtud de sus condiciones naturales pueden agruparse en dos categorías: en la primera colocaremos aquellos terrenos que, poseyendo un relieve con pendientes á propósito para el desagüe superficial, conservan por más ó ménos tiempo una humedad excesiva y perniciosa, por efecto de filtraciones subterráneas, y en la segunda pueden comprenderse los que, por la forma de su relieve, no prestan facilidades á la corriente superficial directa de las aguas meteóricas que caen en su cuenca, ó á las que proceden de manantiales subterráneos que se abren paso en un punto cualquiera de su superficie.

Los terrenos húmedos de la primera categoría pueden ofrecer á su vez distintos caracteres; ó bien una ó más capas permeables dispuestas en pendiente y respectivamente comprendidas entre dos impermeables, se encuentran interrumpidas ántes de llegar á la ladera, y el agua filtra lentamente al exterior al través de una masa que no le da fácil paso, ó bien el agua se halla comprimida en el seno de una capa permeable interpuesta entre dos impermeables, y asciende, por efecto de la presion ó de la capilaridad, ó de ambas causas á la vez, hasta la superficie del terreno, dejando saturada la capa del suelo sobre que la vegetacion insiste.

Cualquiera que sea el orígen de la humedad del terreno, una observacion atenta de sus condiciones naturales, tanto topográficas como geológicas, dará suficientes indicios para la eleccion del mejor procedimiento de desagüe, siempre que

se tengan en cuenta las indicaciones generales que en el CAPÍTULO XIV hemos hecho sobre hidrografía subterránea, así como lo que hemos dicho en el CAPÍTULO XV acerca de la investigacion y alumbramiento de manantiales.

Division de los medios generales de saneamiento. Pasando ya á los procedimientos especiales de saneamiento, los dividiremos, para su más fácil estudio, en cuatro grupos:

1.° Por pozos absorbentes.
2.° Por zanjas abiertas.
3.° Por tajeas subterráneas.
4.° Por cañerías de arcilla cocida (drenaje).

Primer método.—Pozos absorbentes.

Exposicion y discusion del método. El método de saneamiento fundado en el uso de los pozos absorbentes consiste en practicar un sondeo que ponga en comunicacion la capa impermeable saturada de humedad con otra permeable inferior, destinada á recibir las aguas procedentes de la primera.

Los *pozos perdidos*, así llamados en la mayor parte de las provincias de España, ó *pozos secos (pou sech)* en Cataluña, Valencia y Alicante, son pozos absorbentes de un diámetro análogo al de los ordinarios, y cuyo fondo se halla situado en una capa permeable, por la cual se difunden las aguas que, procedentes del exterior, á dichos pozos concurren.

La capacidad de saturacion, ó el poder absorbente del pozo, dependerá de la naturaleza del terreno que constituya la capa permeable, de su extension y espesor, de la pendiente que pueda afectar, de la cantidad de agua que tenga que recibir, así como de la carga á que ésta se halle sometida. Por lo tanto, el desagüe por medio de pozos absorbentes, sobre todo si el proyecto reviste cierto carácter de importancia, dará lugar á la resolucion de un problema casi siempre difícil en términos concretos, por las mismas razones que hemos expuesto al ocuparnos de la perforacion de

los pozos artesianos, puesto que siempre hay algo aventurado en el estudio *a priori* de la naturaleza y disposicion de las capas interiores del terreno.

No será un obstáculo en general para el buen éxito de la operacion que el pozo tenga su asiento en una capa acuífera, ya sea de curso forzado, ya de superficie libre, puesto que el agua que al mismo afluya tenderá á desparramarse por toda la cuenca subterránea, y comunmente no producirá alteracion sensible en el nivel de las aguas que el pozo contenga.

Por lo mismo que la aplicacion de este método depende en tan alto grado de circunstancias locales y fortuitas, no suele aplicarse más que al caso excepcional en que, por la falta de pendiente, no sea fácil recurrir á los otros procedimientos de saneamiento. Aplícase tambien algunas veces á los terrenos llanos de condiciones geológicas á propósito, asociado á uno de los demás métodos generales, cuando se quiere obtener un desagüe provisional ó preparatorio para la ejecucion de otro definitivo.

La figura 106 representa el corte de un pozo absorbente. Las letras *B*, *B*, *A*, indican otras tantas zanjas de desagüe que desembocan en un primer pozo de 3 á 5 metros de diámetro y de 5 á 6 de profundidad, en cuyo fondo se ha abierto un taladro de sonda hasta encontrar una capa permeable de suficiente potencia. Para evitar la caida de las tierras se halla revestido el taladro por un tubo de madera *C*, y con el fin de que no llegue á obstruirse, el conducto se halla protegido á la entrada por una cubierta de losas y ramaje sobre la cual insiste á su vez un relleno de piedras de formas y dimensiones varias.

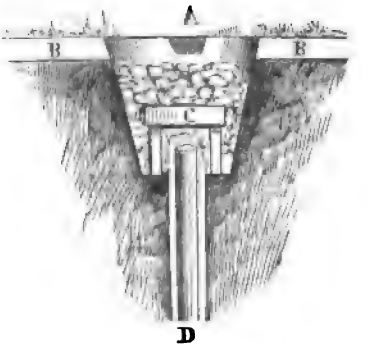


Fig. 106.—Corte de un pozo absorbente.

Segundo método.—Por zanjas abiertas.

Exposicion del método. Este método de saneamiento se aplica especialmente al caso en que hay que dar salida á las aguas superficiales que se acumulan en el terreno, ya procedan de manantiales, ya se hayan reunido despues de haber corrido por la superficie de las vertientes que confluyen al punto en que dichas aguas se encharcan.

En el caso en que convenga desembarazarse de las aguas subterráneas, bastará en general abrir zanjas desde los puntos en que se manifiesten, hasta su conveniente desagüe en una cacera colectora.

Cuando las aguas subterráneas se extienden por una capa permeable del subsuelo, que á su vez insiste sobre otra impermeable, y aquellas ascienden á la superficie por la accion de la capilaridad, produciendo encharcamientos perniciosos puede obtenerse el desagüe abriendo una zanja que insista sobre la capa inferior, y cuya pendiente facilite el movimiento del líquido y su salida al exterior.

La figura 107 ofrece un ejemplo de este caso particular:

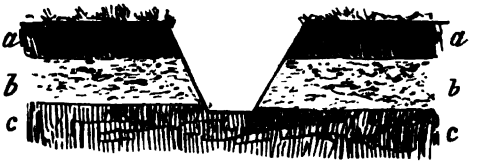


Fig. 107.

aa representa la capa de tierra vegetal, *bb* la capa acuífera, y *cc* el subsuelo impermeable. Dificultan con frecuencia la apertura de esta clase de zanjas las arenas incoherentes que pueden formar la capa acuífera, en cuyo caso se producen desmoronamientos en las márgenes que obstruyen el fondo de la zanja y ponen obstáculos al desagüe. Pueden afirmarse los taludes por medio de plantaciones ó valiéndose del encespedamiento, ó tambien acodalándolos convenientemente,

si bien este último procedimiento suele revestir un carácter transitorio, limitado al tiempo que exija el afirmado definitivo.

Inconvenientes de este método. Los principales inconvenientes del método de saneamiento por medio de zanjas abiertas son los siguientes:

1.º Como para la debida estabilidad de los taludes debe ser la boca de las zanjas tanto más ancha cuanto mayor es la profundidad, resulta perdida para el cultivo una superficie que, en ciertos casos, puede llegar á ser muy considerable.

2.º Las zanjas dificultan las labores y la recoleccion de los frutos, por cuyo motivo, cuando las circunstancias del terreno exigen que se les dé alguna profundidad, no pueden abrirse en las pequeñas parcelas.

3.º La apertura de las zanjas, cuando son anchas y profundas, además de exigir un crecido gasto de mano de obra, da lugar, á causa de la necesidad de su limpia y conservacion, á una servidumbre onerosa que aumenta la cifra de los gastos de explotacion del terreno.

Por estas razones, el saneamiento por medio de zanjas abiertas sólo puede económicamente llevarse á cabo en los sitios en que el valor del terreno y el precio de la mano de obra sean poco considerables, y en que pueda darse cierto carácter de extension al cultivo.

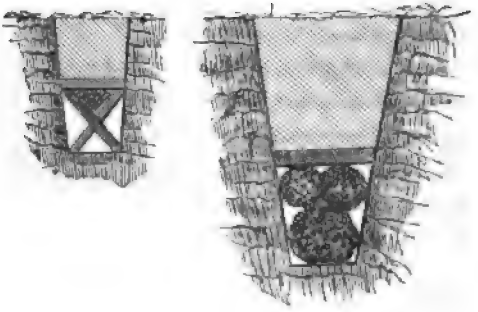
Tercer método.—Por tajeas subterráneas.

Cuando el agua subterránea aparece á la superficie en una gran extension del terreno, los inconvenientes que acabamos de indicar hacen impracticable el método anterior, puesto que para su aplicacion habria que multiplicar extraordinariamente el número de las zanjas.

Exposicion del método. En principio se reduce el procedimiento á la apertura de una zanja de un ancho y profundidad adecuados á las circunstancias del terreno, en cuyo fondo se establece el desagüe por medio de un relleno de pie-

dras ó de grava, ó por medio de una fajinada de ramaje ó sarmientos; el resto de la zanja se rellena con la tierra que de la misma se extrajo.

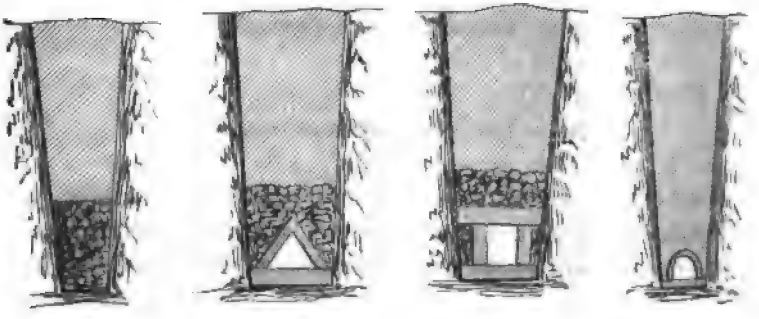
Diferentes modelos de desagüe. La figura 108 repre-



Figs. 108 y 109.

senta una tajea subterránea formada de ramaje y césped, la figura 109 otra constituida por una fajinada, y las 110, 111 y 112 dan idea de diferentes combinaciones en cuya ejecucion entra como material la piedra.

La eficacia de estos diferentes modelos de tajeas se halla comprobada por la experiencia; pero su duracion y los resul-



Figs. 110, 111, 112 y 113.

tados obtenidos son muy variables. La fajinada ofrece el inconveniente de destruirse en un período relativamente corto, aunque variable segun las circunstancias; el relleno de

piedras ocasiona una gran pérdida de velocidad á consecuencia de los multiplicados obstáculos que el agua encuentra en su curso, por cuyo motivo debe aquélla compensarse con el aumento de la pendiente; y en ambos casos, la tierra que las aguas pueden llevar en suspension, ó la que se desprende de la capa superior de relleno, va obstruyendo lentamente los intersticios que dejan los fragmentos de la masa filtrante, pudiendo ocurrir que el desagüe intentado llegue á inutilizarse por completo.

Las tajeas representadas en las figuras 111 y 112, así como la indicada en la figura 113, formada por una canal y una cobija de barro cocido, son consideradas generalmente como inconvenientes para el desagüe de los terrenos en los países frios y húmedos del Norte y Centro de Europa. Nosotros, sin embargo, las creemos enteramente eficaces en España, y nos fundamos en que la actividad de estos conductos debe quedar en general reducida á un corto período del año, pues durante el resto se cuenta para la desecacion con dos agentes por desgracia demasiado poderosos, y son el sol abrasador de nuestros climas y una atmósfera casi siempre ávida de humedad.

Cuarto método.—Drenaje.

Ideas generales. El método de saneamiento fundado en el uso de las cañerías de barro cocido se designa generalmente por los autores con el nombre de *drenaje*, por más que esta palabra, derivada del verbo inglés *to drain*, que significa *desaguar*, ha sido aplicada por algunos autores españoles como sinónima de *saneamiento* en su acepcion más lata. El método de saneamiento que supone el uso de las cañerías de barro ha adquirido tanta importancia en Inglaterra, Bélgica, Holanda, Francia y Alemania en el segundo tercio de este siglo, y ha sido objeto de tan minuciosas investigaciones, que ha llegado á constituir un interesante cuerpo de doctrina, no sólo bajo el punto de vista de la influencia en

la mayor produccion de ciertas tierras, sino tambien bajo el aspecto puramente científico de las aplicaciones de la Hidráulica.

Los prodigios realizados por el drenaje en beneficio de la produccion agrícola de Inglaterra é Irlanda, gracias á la enorme suma de 10 millones de libras esterlinas concedida por el Gobierno inglés á los labradores, como anticipo para proceder al desagüe de los terrenos excesivamente húmedos, ha excitado el entusiasmo de un ilustrado publicista español hasta el extremo de hacerle considerar el drenaje como una gran esperanza para la agricultura patria. No participamos en manera alguna de ilusion semejante, y la razon es muy sencilla: si en Irlanda falta calor para que la humedad del suelo sea fecunda para el cultivo, en España sucede precisamente lo contrario; el calor no es debidamente aprovechado por la vegetacion, porque el factor humedad resulta insuficiente en la mayor parte del territorio. En Inglaterra é Irlanda ha habido necesidad de desaguar para el aumento de la superficie laborable; en España existe infinidad de terrenos que no son susceptibles de un cultivo intenso por falta de aguas, y la accion del Gobierno sería fecunda en toda clase de bienes si pudiera ejercitarse abriendo canales que derivaran las aguas del Duero y del Tajo, por ejemplo, que penetran en Portugal sin haber prestado apenas servicio alguno en nuestro territorio, ó canalizando el Guadiana é impidiendo que sus aguas, desparramándose sobre una inmensa superficie, llenen la atmósfera de emanaciones deletéreas, convirtiendo en desiertos inhabitables grandes extensiones de terreno susceptibles de una trasformacion completa y gradual por medio del cultivo y del riego.

Volviendo al estudio del cuarto método, del que nos ha apartado esta pequeña digresion, entraremos en algunas consideraciones históricas que no creemos enteramente desprovistas de interés. El orígen de este procedimiento de desagüe se hace remontar por algunos autores, lo mismo que el de los métodos anteriormente expuestos, á una antigüe-

dad sumamente remota. Es evidente que el arte de desaguar los terrenos por medio de conductos cubiertos aparece ya expuesto por los escritores agrícolas de la época romana, Caton, Paladio, Columela y Plinio, los cuales, segun toda probabilidad, no hicieron más que consignar un hecho que por tradicion debieron trasmitir al pueblo romano otros pueblos más antiguos.

A principios de la era cristiana el español Columela describia la construccion de las tajeas en los términos siguientes: »Si el suelo fuere húmedo, habrá necesidad de abrir zanjas que faciliten su desagüe. Conocemos dos procedimientos, el de zanjas abiertas y el de conductos subterráneos... Por lo demás, para la formacion de las tajeas subterráneas se abrirán zanjas de tres piés de profundidad, las cuales se rellenarán hasta la mitad de piedrecitas ó de grava pura, cubriendo el resto con la misma tierra procedente de la zanja. Si no se tiene á mano piedras ni grava, se podrá formar una fajinada de ramaje, á la cual se dará un grueso proporcionado á la capacidad del fondo, colocándola de modo que llene completamente el hueco de éste. Colocados los haces, se les recubre con hojas de ciprés, de pino ó de otro árbol cualquiera, rellenando de tierra el resto de la zanja, y comprimiéndola fuertemente, etc.»

Paladio menciona en su libro *De aquæ ductibus* un sistema de tubos de barro cocido más estrechos en uno de los extremos que en el otro, con objeto de facilitar el enchufe; pero como en un pasaje de su obra recomienda de una manera expresa que se reciban las juntas con un cemento, parece deducirse que esas cañerías, muy generalizadas, como es sabido, en la época romana, eran completamente de conduccion, y no participaban del doble carácter de cañerías absorbentes y conductoras, que es precisamente el que distingue á los modernos *drenes*.

Dejando para los autores ingleses y alemanes el dilucidar la cuestion de la gloria que á las respectivas naciones puede caber por la prioridad del invento, emitiremos como

opinion propia que el orígen del procedimiento y sus progresos datan tan sólo del segundo tercio de este siglo.

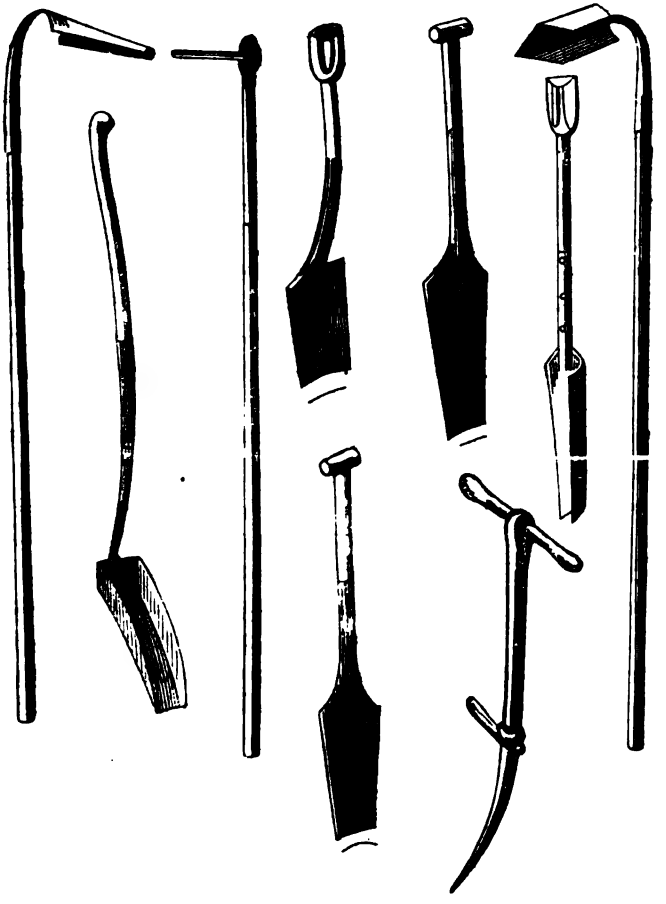
Exposicion del método. Se reduce en términos generales á un sistema de cañerías de barro cocido colocadas en el fondo de las zanjas de desagüe, y destinadas á absorber y conducir fuera del terreno las aguas de que éste se halla saturado. Estas cañerías se ramifican más ó ménos, segun los accidentes del suelo, aumentándose el diámetro de las cañerías colectoras cuanto mayor sea el número de las líneas de desagüe de un órden inferior que con ellas comuniquen.

Partes que el drenaje comprende. La aplicacion de este método de saneamiento, además de exigir el estudio previo del terreno para la formacion del oportuno proyecto, requiere el exámen de los puntos principales siguientes: primero, la apertura de las zanjas; segundo, la determinacion del calibre de los tubos y de la longitud de los drenes; y tercero; la colocacion de la tubería.

Forma de las zanjas. La forma de las zanjas es generalmente la de un trapecio isósceles (fig. 114), cuyas dimensiones deben corresponder al mínimo movimiento de tierras posible. Por esta razon, segun su profundidad, la naturaleza del suelo y del subsuelo, y la habilidad de los obreros, varía la base superior de la seccion entre $0^m,40$ y $0^m,70$, y la inferior no suele tener mayor anchura que la del pié del obrero. Se obtienen fácilmente estas dimensiones cuando el trabajo de desmonte no se halla contrariado por una tierra compacta y pedregosa, aplicando los útiles generalmente usados en Inglaterra, los cuales vienen representados en las figuras 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122 y 123.

Fig. 114.

Profundidad de las zanjas. La profundidad de las zanjas varía con el grado de humedad de las tierras, con la energía de la absorcion capilar, con el espesor de la capa en



Figs. 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122 y 123.—Instrumentos usados para el drenaje en Inglaterra.

que se extienden las raíces de las plantas que cubren el suelo, y finalmente, con el espaciamiento de los drenes y con el clima. Si se quiere evitar que el agua se hiele en el interior

de los tubos, la experiencia aconseja que estos no deben hallarse situados á profundidades menores de $0^m,90$ en los países muy frios. Por término medio la profundidad de las zanjas suele ser de $1^m,05$ á $1^m;20$.

Pendiente. La pendiente mínima de las zanjas suele fijarse en $2'/_2$ á 3 por 1.000. Cuando la superficie del terreno presenta una pendiente más débil, habrá que recurrir al método de zanjas abiertas, por medio del cual puede obtenerse el desagüe hasta con pendientes de $^1/_3$ por 1.000. En otros casos se da á las líneas de desagüe la pendiente natural del terreno. Ocurre, sin embargo, cuando la pendiente es muy fuerte, que la fuerza viva de las aguas dificulta la colocacion y estabilidad de los tubos, en cuyo caso convendrá dar á la zanja una pendiente menor que la del terreno.

Direccion de las zanjas. Las líneas de desagüe deben hallarse dispuestas en el sentido de la máxima pendiente, ó lo que es lo mismo, en direccion normal á las curvas de nivel correspondientes; de modo que la direccion de los drenes variará con el relieve más ó ménos accidentado del suelo. Como las cañerías forman un sistema ramificado, en virtud del cual las primeras líneas de drenes van desaguando en otras colectoras, la direccion de estas últimas corresponderá en general á la de las líneas naturales de reunion de aguas del terreno, desembocando los últimos colectores en una cacera final de desagüe, ó en un azarbe natural constituido por una cañada, barranco, ramblazo, arroyo ó rio.

Distancia de los drenes. No hay reglas fijas para la determinacion del espaciamiento que hay que dar á las líneas de desagüe. Esta distancia varía con la cantidad de agua que hay que eliminar del terreno, con la naturaleza del subsuelo, con la profundidad y pendiente de las zanjas, con la longitud de las cañerías y el calibre de los tubos, y se halla generalmente comprendida entre 8 y 18 metros.

Entre las circunstancias que hacen variar el espaciamiento de las cañerías de desagüe merece una atencion especial la que se refiere á la profundidad de las zanjas. Para

que el agua de la porcion de terreno comprendido entre las zanjas x y x' (fig. 124) pueda llegar á ellas, es preciso que tenga el terreno una pendiente desde el medio á los costados, tanto más fuerte, cuanto más profundo sea el suelo, y cuanto mayor sea la distancia que separa dos cañerías consecutivas. Esta pendiente se halla indicada en la figura por las dos líneas que concurren en a, correspondiente al vértice del ángulo diedro que forman los dos planos de desagüe del subsuelo. En virtud de los principios anteriormente expuestos, es preciso que el punto a se halle á bastante profundidad para que no haya que temer en la superficie del suelo los efectos del ascenso del agua por la capilaridad. Si estos efectos fueran sensibles para las zanjas x, x', se podria bajar el fondo respectivamente hasta 0 y 0', en cuyo caso el nivel de desagüe bajaria á su vez desde a hasta a', pudiéndose por consiguiente hacer ocupar á las zanjas la posicion z y z' sin que la pendiente de desagüe hubiese disminuido.

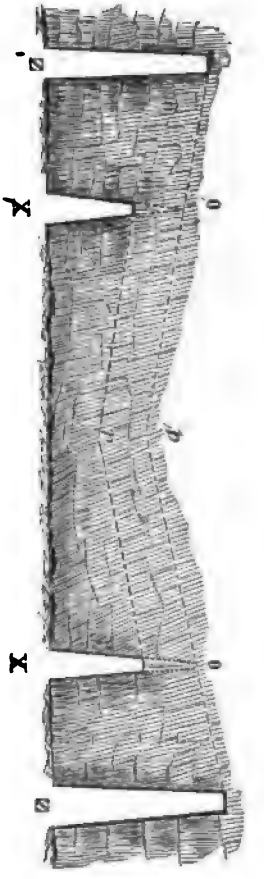


Fig. 124.

Calibre de los tubos. El calibre de los tubos varía segun los tipos adoptados en las distintas fábricas; pero no suele bajar de 2,75 centímetros, ni exceder de 10,^{cm}50. El siguiente cuadro da el área de la seccion, el peso y el precio por millar de tubos de diez calibres diferentes, siendo de 0^{m},33 la longitud de cada uno de aquellos.

Número de los tubos	Diámetro — *Centímetros*	Area de la seccion — *Cent. cuadrados*	Peso del millar — *Quintales*	Precio del millar — *Pesetas*
1	2,75	5,940	12	21,45
2	3,25	8,296	15	25,70
3	3,75	11,045	18	30,00
4	4,50	15,904	25	42,85
5	5,00	19,635	30	51,45
6	5,75	25,967	35	60,00
7	6,00	28,274	40	64,30
8	8,00	50,265	50	75,00
9	9,50	70,882	60	96,45
10	10,00	86,590	70	115,70

Por regla general convendrá emplear tubos del menor calibre que permita la cantidad de agua que haya que desviar. La experiencia ha demostrado que los tubos más pequeños, indicados en la tabla con el número 1, son difíciles de colocar, y que raras veces funcionan con regularidad cuando la pendiente es débil; de consiguente sólo se emplearán en pendientes fuertes y para cañerías de corta longitud. Los calibres más frecuentemente usados son los de 3 centímetros y $\frac{1}{4}$ y los de 3 $\frac{3}{4}$.

Velocidad del agua en las cañerías. La velocidad del agua que discurre por los drenes aumenta con la pendiente y con el diámetro de los tubos. La corta longitud de éstos y sus asperezas interiores, los numerosos enchufes que hay que establecer para formar la cañería, y las angulosidades de ésta, así como la imposibilidad de obtener un ajuste perfecto en los empalmes, son otros tantos obstáculos que hacen que la velocidad del agua sea menor que la que correspondería á su curso por una cañería de la misma pendiente y de superficie interior lisa y uniforme.

Möllinger ha corregido por experimentos directos la fórmula de Eytelwein, aplicable al movimiento del agua por las cañerías ordinarias, y ha encontrado para los drenes la siguiente:

$$v = 3{,}596 \sqrt{\frac{46{,}5\, dh}{l + 46{,}5\, d}},$$

en la cual v representa la velocidad del agua, d el diámetro interior de los tubos, h la pendiente relativa á la longitud l. De esta fórmula se deduce que para l=1.000 y v= 0^{m},225, que es la velocidad mínima por segundo para los conductos de arcilla abiertos, se tendrá:

$$h = \frac{50{,}625 + 2{,}354\,d}{601{,}299\,d}.$$

Por medio de esta última fórmula, para los diferentes calibres expresados en el cuadro anterior, se han calculado las pendientes mínimas indicadas en el cuadro adjunto, al cual hemos añadido los gastos por segundo correspondientes.

Diámetro de los tubos	Pendiente por mil	Litros por 1"
2,75	3,072	0,14895
3,25	2,602	0,18657
3,75	2,253	0,24840
4,50	1,883	0,35775
5,00	1,698	0,44172
5,75	1,476	0,58428
6,00	1,415	0,63639
8,00	1,040	1,13076
9,50	0,899	1,59435
10,50	0,817	1,94882

Cálculo del desagüe. Los autores franceses, ingleses y alemanes que se ocupan del draneje estudian *a priori* la cantidad de agua á que hay que dar salida por hectárea en la unidad de tiempo por medio de las tuberías indicadas, partiendo del dato de la cantidad de lluvia que cae en las diversas estaciones del año. Creemos enteramente ocioso detenernos en el exámen de esta dificilísima cuestion, por las mismas razones que en el CAPÍTULO XV hemos expuesto al ocuparnos del volúmen de agua por segundo que pueden dar

los manantiales, partiendo de la hectárea como unidad de superficie de su cuenca de recepcion. Son tantas y de tal naturaleza las variables que entran en el problema, que conceptuamos imposible su resolucion directa. Aunque se conociesen para cada punto del terreno la cantidad de agua llovida y evaporada, sería preciso poder determinar la que discurre por la corriente superficial, la que se filtra al través de las capas superiores del terreno, la que procede de las capas subterráneas, etc., datos todos de apreciacion imposible. De consiguiente, para el replanteo de un proyecto de drenaje de una exactitud relativa no hay más regla que la apreciacion del Ingeniero, y el cálculo del gasto efectivo de los tubos no puede hacerse más que *a posteriori*, ó bien partiendo de los resultados obtenidos en proyectos ya realizados de condiciones análogas.

Colocacion de los tubos y relleno de las zanjas. Concluidas las zanjas, nivelado su fondo y obtenida la seguridad de que el agua no ha de estancarse en ningun punto del trayecto que tenga que recorrer, se van colocando los tubos, empezando por la parte más baja del terreno para que las aguas vayan encontrando salida á medida que aparezcan en el fondo de las zanjas. La colocacion de los tubos se efectúa ó á mano ó por medio del útil representado en la figura 117; es decir, ó bajando el obrero al fondo de la zanja, ó desde arriba empleando el citado instrumento, y procurando siempre la mayor perfeccion posible en los enchufes.

La colocacion á mano no se ejecuta más que en circunstancias excepcionales, cuando, por ejemplo, las zanjas son muy profundas y fangosas, ó cuando son secas y la tierra es muy dura, puesto que en ambos casos es muy difícil nivelar el fondo, y una vez colocados los tubos no adquieren fácilmente estabilidad. Se colocan tambien á mano en las arenas incoherentes y movedizas, en cuyo caso se recurre tambien á la colocacion de una solera de tablas á fin de que no experimente la cañería hundimientos parciales que interrumpan su continuidad.

El empalme de una cañería con otra colectora se efectúa practicando en los dos tubos de concurso las entalladuras correspondientes á las curvas en que los dos cilindros se muerden, y haciendo que el tubo colector quede por debajo, para que sobre él se vierta el agua de los drenes.

Con el fin de evitar que en el interior de los colectores se introduzcan los ratones ú otros animales que puedan causar perjuicios á la cañería, suélese colocar en la desembocadura un manguito provisto de pequeños agujeros de desagüe, ó bien se hace terminar por un tubo de madera provisto de una válvula que se abre de dentro afuera por la presion misma del agua, y que vuelve á cerrarse por sí misma cuando la corriente se interrumpe.

Una vez colocados los tubos hay necesidad de recubrirlos en seguida, á fin de evitar que el agua que corre por el fondo de la zanja ó por los costados de los tubos pueda alterar la colocacion de éstos. Un suelo fangoso y blando se solidifica poco tiempo despues de colocados los tubos, puesto que la misma sustancia porosa de que éstos están formados absorbe una gran cantidad de agua y la suministra á la corriente interior, aumentándose al propio tiempo esta corriente por la que se introduce por los enchufes. Se va efectuando el relleno con la tierra desmenuzada y se procura que no queden en la zanja piedras muy pesadas, que, por efecto de una desigual distribucion de la carga, podrian desarticular la cañería ó producir en ella desviaciones.

Presupuesto de gastos. El presupuesto de gastos de un proyecto de saneamiento, además de la parte correspondiente á la direccion facultativa, comprende:

1.° La apertura y relleno de las zanjas.

2.° La compra y colocacion de los tubos.

El coste del metro lineal se deduce de la cubicacion de la zanja, del precio de los jornales, de la naturaleza del terreno y de la cantidad de trabajo que puede ejecutar un obrero en las distintas circunstancias. Los factores necesarios para este cálculo se hallan expuestos en todos los formularios de

construccion, si bien deben ser modificados para cada caso particular, segun las exigencias y condiciones locales. Los gastos de trasporte varian en cada localidad, y deben calcularse atendiendo al peso, á la distancia, pendientes y medios de locomocion.

La apertura y relleno de las zanjas puede hacerse á destajo, y la colocacion de los tubos á jornal, por ser esta operacion más delicada. Un obrero hábil puede colocar en diez horas de trabajo de 150 á 250 metros de cañería. Para cada 5 metros se calculan 18 tubos, contando con la disminucion de longitud que resulta de los enchufes.

En resúmen, los gastos de drenaje pueden variar entre 130 y 230 pesetas por hectárea, pagándose el jornal de los obreros de 9 á 10 reales.

Ventajas del drenaje. La experiencia ha demostrado que, cuando la pendiente del terreno es uniforme, el saneamiento por medio de cañerías es mucho más eficaz que el que se obtiene por medio de zanjas abiertas de grandes dimensiones. Este resultado es debido en parte á la situacion más profunda de los drenes, y en parte al poco rozamiento que experimenta el agua corriendo por el interior de los tubos, comparado con el que se produce en la tierra de las zanjas, cuyo fondo se abarranca y ofrece continuas sinuosidades por efecto de las mismas erosiones. El fondo y las márgenes de la zanja abierta se reblandecen al poco tiempo, quedando saturados de humedad; la tierra se desmenuza bajo la influencia de la atmósfera, se deslie formando légamo, el cual trasmite por la accion de la capilaridad á las tierras inmediatas el agua de que se halla saturado.

Las desventajas de las zanjas abiertas se manifiestan, sobre todo, cuando se trata de un terreno que puede ser saneado por los drenes de menor calibre. El efecto de las zanjas puede llegar á anularse por completo á consecuencia de la reabsorcion del agua, miéntras que una vez saturados los poros de los tubos se obtiene ya una corriente continua.

Los drenes ofrecen además otra ventaja importante

cuando arrojan el agua á boca llena: obran por absorcion sobre el aire de los campos drenados, el cual se introduce por el suelo, meteorizándolo hasta una gran profundidad, fenómeno sobre cuya importancia hemos llamado repetidas veces la atencion en el curso de nuestro trabajo.

CAPÍTULO XXIV.

ENTARQUINAMIENTO (1).

Nociones preliminares. Entendemos por *entarquinamiento* la operacion que tiene por objeto el levantamiento del suelo mediante la sedimentacion sobre su superficie del légamo ó *tarquin* que las aguas de los rios ó de los torrentes llevan en suspension durante las crecidas.

Al ocuparnos en el CAPÍTULO II de la influencia que las aguas ejercen en la vegetacion y en el cultivo, tratamos con algun detalle las relativas á las materias sólidas que llevan en suspension ó arrastran en su curso por efecto de su accion erosiva sobre los terrenos superiores. Dijimos entónces que la naturaleza y cantidad de los arrastres dependen de las condiciones del terreno que las aguas atraviesan y de la fuerza viva de que se hallan animadas; de modo que, dado un grado de coherencia del terreno, la intensidad de las erosiones aumentará en razon directa de la masa líquida puesta en movimiento y del cuadrado de su velocidad, circunstancia que explica el fenómeno de la deposicion sucesiva de los grandes peñascos, de los cantos rodados, y de las gravas, arenas y légamos, á medida que la velocidad de la corriente disminuye.

En todos los países pueden citarse grandes extensiones de terreno impropias para el cultivo, frecuentemente marcadas con el sello de la insalubridad que deben á su carácter pantanoso, las cuales son, sin embargo, susceptibles de tras-

(1) Palabra sinónima de la francesa *colmatage* y de la italiana *colmata*.

formarse en campos feraces y salubres, mediante la operacion del entarquinamiento, sola ó combinada con los sistemas generales de desagüe. La ejecucion de esta clase de proyectos podrá corresponder á la administracion ó á la iniciativa privada, segun la naturaleza é importancia de los intereses á que afecten, y el criterio que determine la índole de la iniciativa que económicamente pueda llevarlos á cabo, será análogo al que expusimos en el capítulo de INTRODUCCION, al analizar el alcance del interés individual y del colectivo en la realizacion de los proyectos de riegos.

Los terrenos susceptibles de mejora por medio del entarquinamiento se presentan unas veces bajo la forma de depresiones sin salida, en las cuales se estancan las aguas llovedizas, y cuyo desagüe en una línea natural relativamente próxima no puede realizarse en condiciones económicas por su nivel excesivamente bajo, recurriendo á los sistemas de canales, zanjas, drenes, pozos absorbentes ó galerías subterráneas. Otras veces se presentan bajo la forma de fajas cubiertas de cantos rodados ó de arenas que, alternativamente cubiertas y abandonadas por las aguas en las crecidas torrenciales, pueden ser trasformadas en terrenos sumamente fértiles, haciendo cesar la causa que las esteriliza, y llevando sobre su superficie una cantidad suficiente de aguas turbias que abandonen en ellos los légamos revueltos en su masa. Y finalmente, aparecen tambien dichos terrenos en la desembocadura de los rios, formando deltas extensos, desiguales en su relieve, y casi siempre más ó ménos pantanosos, debidos á las divagaciones de las aguas por la falta de pendiente, por la sedimentacion misma de los arrastres, y por los obstáculos que periódicamente ofrecen al desagüe las tempestades ó las mareas.

La índole é importancia de las obras que la realizacion de un proyecto de entarquinamiento exija será, por lo tanto, muy variable, y se comprende que en determinadas circunstancias sean precisos minuciosos estudios y profundas investigaciones, sobre todo, cuando haya necesidad de proce-

der á rectificaciones de cauces, á defensa de márgenes ó á desviaciones de corrientes naturales de alguna importancia. No pudiendo entrar en el detalle de las muchas cuestiones más ó ménos directamente relacionadas con el proyecto de entarquinamiento que las variadas condiciones del terreno ofrezcan en la práctica, nos limitaremos á estudiar los casos más sencillos, exponiendo de paso algunas ideas generales acerca de los problemas incidentales que requieran un estudio especial y minucioso, ajeno al objeto de nuestro trabajo.

Al proceder al estudio de un proyecto de entarquinamiento hay necesidad de conocer previamente el régimen del rio ó de la corriente cuyas aguas se desee utilizar, y la cantidad y naturaleza de las materias sólidas que el líquido lleva en suspension, con el objeto de poder deducir el volúmen que deba emplearse y el tiempo que en la operacion del entarquinamiento se invierta.

La cantidad de légamos que las aguas llevan en suspension varía extraordinariamente en un mismo rio segun el punto de su curso en que dichas aguas se tomen, y segun el período de la crecida, la estacion y las distintas circunstancias que al fenómeno torrencial caractericen; sin embargo, una observacion atenta permite adquirir datos suficientes para un cálculo aproximado, aplicable á una localidad determinada. En el CAPÍTULO II expusimos en forma de cuadro el resúmen de las observaciones practicadas por varios Ingenieros, con el objeto de deducir la cantidad en peso de tarquin *seco* que corresponde al metro cúbico de agua torrencial de diversos rios, y, segun dicho cuadro, la máxima dosis es la de 36 kilógramos por metro cúbico, ó 36 gramos por litro de agua turbia, hallada por M. Hervé Mangon para una crecida del rio Var que corre por la Provenza.

Dijimos que en España se han practicado muy pocas observaciones de este género; sin embargo, como todas las corrientes, casi sin excepcion, poseen un carácter torrencial dependiente de sus condiciones naturales, ha lugar á suponer que en el período de las fuertes crecidas la dosis de tar-

quin debe llegar á dicho máximo, y áun á excederlo algunas veces, segun hemos tenido ocasion de notar en las avenidas de los rios que confluyen en las inmediaciones de la ciudad de Gerona, los cuales ofrecen en ciertos momentos el aspecto de grandes masas de lodo puestas en movimiento. Hemos visto embotellada y aclarada por reposo una porcion de agua recogida en una de las avenidas ordinarias del rio Llobregat, y aunque no nos ha sido posible dosificar el tarquin depositado, no creemos apartarnos mucho de la realidad aforándolo en 20 gramos de légamo seco por litro de agua turbia.

Recogida el agua del Júcar en Cuenca por el Ingeniero de Minas D. Daniel Cortázar el 14 de Abril de 1872, despues de varios dias de lluvia que habian determinado una crecida en el rio, daba por filtracion un residuo de color pardo rojizo de 28 centígramos por litro, ó sean 2,80 kilógramos por metro cúbico de agua. El aforo del rio en el mismo dia dió un volúmen de 23 metros cúbicos por segundo, de modo que la cantidad de limo arrastrada se elevaba á 64,40 kilógramos por segundo, ó sean 231.840 kilógramos por hora, ó 5.564.160 kilógramos en veinticuatro horas, que representan un volúmen de unos 7.000 metros cúbicos de tierra acarreada en un sólo dia.

Tomada por el mismo Sr. Cortázar agua del Tajo en la barca de Fuentidueña el 7 de Octubre de 1872, en un dia de crecida en que las aguas del rio tenian un color rojo subido, encontró dicho Ingeniero como resíduo de la filtracion 32 centígramos de limo para un litro de agua, ó sea 3,20 kilógramos para un metro cúbico. El aforo del rio daba 27 metros cúbicos por segundo; la cantidad de limo arrastrada en este tiempo era, pues, de 86,40 kilógramos, ó sean 311.040 kilógramos por hora, ó bien 7.464.960 kilógramos en veinticuatro horas, es decir, unos 10.000 metros cúbicos de tierras arrastradas por dia.

Ya dijimos que con los entarquinamientos que desde hace cinco años se vienen practicando de una manera regu-

lar y metódica en los terrenos del delta derecho del Llobregat se ha obtenido una capa de sedimento de cerca de un metro de altura, que equivale por lo tanto á un levantamiento anual del nivel del suelo de cerca de dos decímetros.

Claro es que para el cálculo aproximado *a priori* de este levantamiento hay que determinar previamente la dosis de tarquin que llevan las aguas, adquirir datos locales acerca de la duracion y periodicidad de las crecidas, y sobre las épocas en que con más frecuencia se producen; y que en su vista, y teniendo en cuenta el volúmen de aguas aprovechadas y la densidad del tarquin, que puede fijarse en 1,5 ó sea 1.500 kilógramos por metro cúbico, será fácil deducir con la aproximacion suficiente el espesor de la capa anual de sedimento.

Es tambien de la mayor importancia hacer un estudio detallado del terreno que se quiera entarquinar para poder fijar el punto en que deba establecerse la toma y las condiciones de ésta, así como el procedimiento más ventajoso para desembarazarse de las aguas ya clarificadas. Si el terreno es muy bajo y hay necesidad de elevar considerablemente su nivel, podrá facilitarse el levantamiento haciendo concurrir á la produccion de dicho fenómeno el depósito de arenas que en el momento oportuno de la crecida arrastren las aguas, sin perjuicio de que, cuando haya que proceder á la formacion del suelo vegetal, no se admitan en el terreno beneficiable más aguas que las que lleven en suspension los limos fertilizantes.

Hemos afirmado anteriormente que la casi totalidad de los rios y arroyos de España poseen un carácter torrencial dependiente de sus condiciones naturales. En un trabajo que sobre torrentes publicamos en 1871 en la *Revista forestal, económica y agrícola*, demostramos que los fenómenos torrenciales obedecen á tres causas determinantes: una *topográfica*, dependiente de la configuracion exterior del terreno; otra *geológica*, resultante de su naturaleza íntima, y otra *meteorológica*, debida á las influencias atmosféricas. En cuanto á

la primera, es sabido que la orografía de nuestro suelo ofrece numerosas masas montañosas, fuertemente accidentadas y con pendientes muy considerables; tocante á la constitucion geológica del suelo, es tambien sabido que su mayor superficie corresponde á terrenos friables que ofrecen presa fácil á la accion de las aguas; y por lo que atañe á la causa meteorológica, ya hemos indicado que el clima de la Península, seco por punto general, ofrece lluvias poco frecuentes, pero densas y aturbonadas. Tenemos, pues, en España todos los elementos necesarios para la formacion de los torrentes, y áun cuando á la produccion del fenómeno no lleguen á concurrir simultáneamente las tres causas indicadas, basta para ella que obren dos de dichas causas, ó una sola, si ésta es la meteorológica, segun tuvimos ocasion de poner de manifiesto, valiéndonos de las observaciones practicadas en distintas épocas en los rios de la Península.

Terminaremos esta pequeña digresion, que no creemos fuera de su lugar para la mejor inteligencia del asunto que forma el objeto de este capítulo, manifestando que las causas productoras de los fenómenos torrenciales no limitan su accion á las regiones superiores de los rios, sino que se hacen sensibles en toda la extension de su curso por el carácter torrencial que á su vez poseen los afluentes, aisladamente considerados, y cuyo influjo se deja sentir en los diferentes tramos en que el tronco principal del rio puede considerarse dividido.

Toma de aguas. Indicadas ya las causas generales que determinan las erosiones y la deposicion sucesiva de los arrastres de las aguas torrenciales, se comprende desde luégo que si la elevacion de nivel que hay que dar al terreno por medio del entarquinamiento es muy pequeña, sólo deberán aprovecharse las aguas que lleven en suspension las sustancias más tenues; y que, por el contrario, cuando haya que terraplenar huecos considerables, podrán admitirse arrastres más groseros. En el primer caso, suponiendo que las aguas turbias se hallen animadas de cierta velocidad, deberá

hacerse la toma en la superficie; y en el segundo habrá que buscar la materia para la sedimentacion á una mayor profundidad, bastando en algunos casos abrir un corte en el quijero ó márgen del rio que alcance hasta el fondo de su cauce.

En términos generales, la toma de aguas para el entarquinamiento se efectúa casi siempre estableciendo en el rio una presa que facilite la introduccion de las aguas turbias en el canal de conduccion, en cuyo bocal se disponen una ó más compuertas de aislamiento para el caso en que convenga dejar correr las aguas por su propio lecho. Cuando el terreno beneficiable esté más bajo que el lecho del rio, claro es que podrá suprimirse la presa de elevacion por innecesaria.

Canal de conduccion. La pendiente de los canales destinados á la conduccion de aguas turbias para el entarquinamiento no puede reducirse, por lo general, á los límites que hemos consignado al tratar de los canales exclusivamente dedicados al riego. En efecto, cuando la pendiente del canal disminuye, conservándose constante la seccion trasversal, decrece á su vez la velocidad de las aguas, y llegando ésta á un límite inferior á 30 centímetros por segundo, abandona el líquido las arenas finas que arrastrar pudiera, iniciándose al propio tiempo el depósito de los légamos; de modo que, si el canal mide una longitud algo considerable, y posee una pendiente débil, tendrá lugar la sedimentacion de los arrastres en la misma línea conductora, en lugar de producirse el fenómeno con toda su intensidad en el terreno beneficiable, siendo además precisa la inversion de una cierta suma en la ejecucion periódica de la limpia. El inconveniente de la falta de pendiente no tendrá tanta importancia cuando el desarrollo del canal sea muy escaso, puesto que, áun estando las aguas tranquilas, es preciso que trascurra un cierto tiempo para la deposicion completa de las materias sólidas suspendidas en su masa.

La pendiente mínima asignable en las distintas circunstancias variará, generalmente hablando, con las dimensiones del canal y con el volúmen que tenga que conducir: medio

milímetro por metro para los grandes canales, y 3 ó 4 milímetros por metro para las acequias de dimensiones medias, serán próximamente los límites inferiores á que habrá que atenerse en la práctica si sólo se trata de aprovechar los limos fertilizantes. Si se quisiera que las arenas finas recorriesen el canal de conduccion sin depositarse en su curso, habria, cuando ménos, necesidad de adoptar una pendiente de 2 por 1.000 para los canales de gran seccion, y de 1 por 100 para las pequeñas zanjas inmediatamente destinadas á la distribucion de las aguas turbias. Claro es que cuando haya necesidad de levantar mucho el suelo, será preciso abrir el canal á la suficiente altura para que no se interrumpa el movimiento del agua durante el período en que el entarquinamiento vaya tocando á su término; y se comprende asimismo que podrá ser conveniente establecerlo, á lo ménos en el primer tramo, á un nivel superior al definitivo del terreno, á fin de que la línea conductora permita el riego de pié una vez terminado el entarquinamiento.

Desagüe de los terrenos entarquinados. El problema de dar salida á las aguas claras, despues de aprovechado su sedimento, suele ser, en general, de resolucion más difícil que el que tiene por objeto la introduccion de las aguas turbias en el terreno beneficiable. Ocurre, sin embargo, con frecuencia, aunque éste se halle situado á un nivel muy bajo, el poder contar para el desagüe con una línea natural poco distante, en cuyo caso el problema de dar salida á las aguas clarificadas queda reducido al establecimiento de un sistema de azarbes análogo al que hemos expuesto al estudiar los métodos de riego. Lo mismo que en aquel caso convendrá dar á las líneas principales de desagüe la mayor pendiente conciliable con la necesidad de evitar los desgastes por erosiones, si bien no será inconveniente grave la falta de aptitud en las condiciones naturales del terreno para un rápido desagüe, puesto que esta circunstancia no producirá, en general, más resultado que el retrasar hasta cierto punto la completa salida de las aguas clarificadas.

En la mayoría de los proyectos de entarquinamiento habrá necesidad de aislar la superficie beneficiable por medio de un canal ó de una zanja de circunvalacion que impida que se introduzcan las aguas que no se destinen de una manera inmediata al levantamiento del suelo, facilitando al propio tiempo el desagüe de las que caen dentro de dicha zona. La apertura de esta línea de circunvalacion exigirá frecuentemente un prolijo estudio, por ejemplo, cuando sea muy considerable la cuenca cuyas aguas tienden á reunirse en la zona aislada, en cuyo caso habrá que calcular la pendiente y la seccion de dicho canal tomando en cuenta la extension de la cuenca, la periodicidad y la distribucion de las lluvias, su intensidad máxima, y la mayor ó menor rapidez del desagüe segun la orografía del terreno y el estado de su superficie. Otras veces podrá complicarse la operacion con la necesidad de establecer diques insumergibles que pongan el terreno á cubierto de las inundaciones periódicas á que pueda dar lugar una corriente natural poco distante. Pero prescindiendo de éstos y de otros inconvenientes que en la práctica pueden modificar el problema, vamos á estudiarlo en sus términos más sencillos, ó sea bajo el punto de vista de la ejecucion material del entarquinamiento propiamente dicho.

Distinguiremos dos procedimientos generales de entarquinamiento: el *intermitente* y el *continuo*.

Entarquinamiento intermitente. Este procedimiento consiste, en términos generales, en inundar el terreno con una capa de aguas turbias que se dejan aclarar por reposo despues de interrumpida su comunicacion con el canal ó acequia de que proceden, y en facilitar el desagüe una vez efectuado el depósito de la mayor parte de las sustancias sólidas suspendidas en la masa líquida. Las diferentes maniobras que constituyen el procedimiento se van repitiendo sucesivamente hasta que el terreno adquiere el nivel que se desea.

Para la práctica de estas operaciones generalmente se aisla el terreno de los colindantes por medio de una zanja ó

canal de circunvalacion, empleándose las tierras procedentes del desmonte en la formacion de un dique de recinto, segun se indica en la figura 125.

Cuando la extension de la zona es muy considerable ó muy fuerte la pendiente, se divide dicha zona por medio de diques trasversales en porciones a, a', a'', a''', a^{IV}, ..., tanto más estrechas cuanto mayor sea la distancia que las separa del canal ó acequia que suministra las aguas. La coronacion de los diques trasversales debe dar una línea de nivel, y su altura debe guardar cierta relacion con la cantidad de agua disponible y con el nivel que ésta tenga en el canal de conduccion. La cresta del dique b b suele disponerse de nivel con el de las aguas del canal ó acequia y, si el terreno es sensiblemente horizontal, los demás diques tendrán la misma altura.

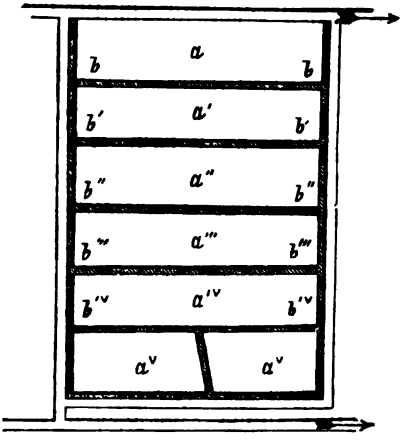


Fig. 125.

Cuando el terreno es inclinado, la cresta del dique b b se corresponde de nivel con el pié de $b'b'$, la coronacion de éste con el pié del siguiente, y así sucesivamente hasta el último dique.

Preparado de este modo el terreno, se opera de la manera siguiente: llegan las aguas al canal de conduccion y pasan á la division a hasta alcanzar la altura del dique b b, en cuyo caso rebosan por su coronacion pasando á la division a', y de una manera análoga á las a'', a''' y a'^{v}. Inundadas todas las parcelas se dejan aclarar las aguas por reposo, y obtenida la sedimentacion se hace pasar el líquido al canal de desagüe.

Por lo general será conveniente dar á los diques la mayor altura posible, puesto que cuanto mayor sea la cantidad de aguas turbias admitida en cada division ó parcela, será tanto más considerable el espesor de la capa de sedimento. Segun el procedimiento indicado, cualesquiera que sean las desigualdades que ofrezca la superficie del terreno al iniciarse el entarquinamiento, las porciones más bajas, en que el agua formará una capa de mayor espesor, se recubrirán con un sedimento correspondiente de légamos; de modo que el terreno tenderá á levantarse uniformemente por estratos horizontales.

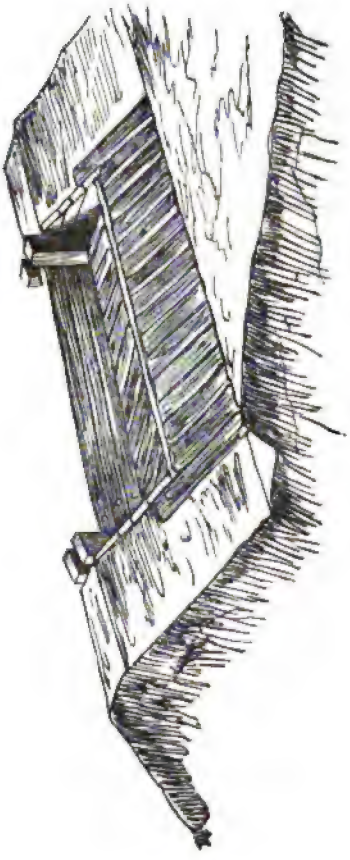


Fig. 126.

La evacuacion de las aguas clarificadas debe verificarse por la superficie, puesto que si se abriese un desagüe de fondo, se precipitaria el agua con cierta violencia hacia la abertura de salida, ejerciendo erosiones en la capa de sedimento, y arrastrando en su movimiento una parte de los depósitos acumulados. Se evitan estos inconvenientes haciendo salir el agua por anchas aberturas practicadas en la coronacion de los diques, las cuales se cierran oportunamente mediante el empleo combinado de estacas, tablas, tierra y césped.

Puede obtenerse el desagüe superficial por otro procedimiento más perfeccionado, que consiste en una represa mó-

vil de madera, formada de viguetas superpuestas, perfectamente labradas y escuadradas, y cuyos extremos encajan en dos ranuras laterales del marco ó bastidor que limita la abertura. Las figuras 126 y 127, que representan respectivamente la perspectiva y corte trasversal del citado mecanismo, nos dispensan de entrar en más amplios detalles.

Para proceder á la operacion del desagüe, se empieza quitando la vigueta superior, en cuyo caso fluye el agua por

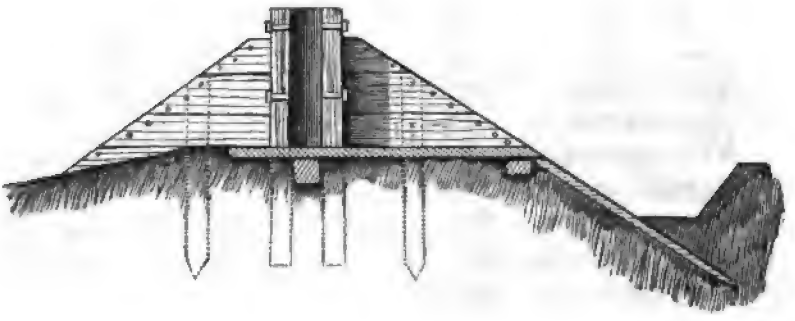


Fig. 127.

el vertedero así formado, y sucesivamente se van quitando las viguetas inferiores á medida que va bajando el nivel de las aguas, suspendiéndose el desarme de la presa en el momento en que se advierta la salida de aguas turbias.

Si la zona entarquinada tuviese una gran extension, la descarga podria ser muy lenta no practicando el desagüe en una gran longitud de vertedero; pero precisamente las presas de viguetas se prestan mejor que las demás á la formacion de grandes aberturas, pudiendo llegar el límite superior de éstas hasta cuatro ó cinco metros. Si para el conveniente desagüe en un corto período de tiempo no fuese bastante una sola abertura, podrian establecerse dos ó más análogas á lo largo de los respectivos diques.

Las pérdidas de agua que experimenten las parcelas en que se ha dividido el terreno, por la falta de calafateado de las viguetas que cierran la boca de salida del líquido, pueden

compensarse haciendo que se introduzcan desde el canal, y de una manera continua, una cantidad de agua equivalente á la que pasa al través de las juntas.

Los períodos de renovacion del agua podrán ser de veinticuatro horas, de doce, ó más cortos, segun el caudal de que se disponga. Si el agua es abundante, y hay necesidad de dar mucha elevacion al suelo, habrá generalmente ventaje en renovar el líquido con frecuencia, aunque no se aprovechen más que los depósitos más groseros, que son los primeros en producirse. Cuando la operacion vaya tocando á su término, será conveniente dejar trascurrir mayor tiempo para que las aguas se aclaren y depositen el légamo más fino, generalmente dotado de mayor poder fertilizante.

Entarquinamiento continuo. El método de entarquinamiento continuo sólo difiere del anterior en que, en lugar de permanecer estancada el agua hasta su clarificacion más ó ménos completa, experimenta una continua renovacion, saliendo por uno ó más vertederos situados en la parte baja del terreno la misma cantidad de agua que el canal de alimentacion suministra á la parcela de cabecera de la zona entarquinable. La corriente de aguas turbias que se hallaba encajonada en el estrecho cáuce del canal de abastecimiento, al desparramarse por una superficie relativamente vasta, pierde casi toda su velocidad y abandona en su nuevo trayecto una gran parte de las sustancias sólidas suspendidas en su masa.

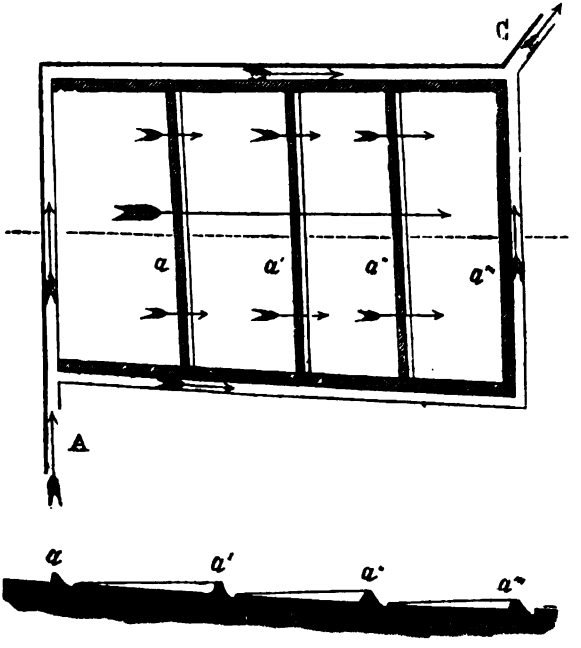
Para la ejecucion material del entarquinamiento, por este segundo método, se adoptan en la práctica distintos procedimientos. Si se dejase entrar el agua en la primera parcela por una sola abertura practicada en el canal, y se efectuase de una manera análoga el trasvase del líquido entre las varias porciones que la zona comprende, podria fácilmente originarse una corriente directa y de anchura limitada entre la abertura de entrada y la de salida, sin que el resto de la masa inundante participase de dicho movimiento, en cuyo caso, dicho se está que habian de quedar porciones del espa-

cio inundado en las cuales no se produjera sedimento alguno, una vez clarificada el agua que las recubre. Este inconveniente se remedia con facilidad estableciendo un sistema de diques ó de obstáculos cualesquiera que obliguen al agua recien introducida á recorrer todo el terreno sumergido, ántes de llegar al vertedero final de salida.

Conviene asimismo tomar en cuenta otro fenómeno importante por la influencia que puede ejercer en la salubridad del terreno entarquinado. Cuando la profundidad de la capa inundante es pequeña, y la temperatura exterior muy considerable, los vegetales que tapizan el fondo ó las márgenes del terreno, y áun las sustancias orgánicas que se hallan en suspension en las aguas, pueden experimentar una fermentacion más ó ménos activa que llene la atmósfera ambiente de miasmas palúdicos. La práctica del entarquinamiento en el Mediodía de Francia ha puesto de manifiesto, segun las observaciones de M. Thomas, que mientras la capa de agua no tenga una profundidad menor de medio metro, no existe peligro alguno de insalubridad, áun contando con la pequeña velocidad de que deben hallarse animadas las aguas turbias para que se facilite el depósito de los légamos. Hay que advertir, sin embargo, que cuando el entarquinamiento va acercándose á su término, no pudiendo elevarse el agua más que hasta cierto nivel, y teniendo que correr sobre el terreno formando una capa delgada, podrán ofrecerse los dos inconvenientes siguientes: si á pesar del levantamiento del suelo se continúa admitiendo en la primera parcela la misma cantidad de agua con que se inició el entarquinamiento, las reducidas dimensiones de la seccion de la capa líquida que cubre el terreno determinan un aumento correspondiente en la velocidad, y como consecuencia inmediata un depósito incompleto del légamo; si, para evitar estos efectos, se reduce considerablemente el volúmen de la masa líquida, decrece la profundidad de la capa y, sobre todo, la rapidez de su movimiento, presentándose el peligro de la insalubridad anteriormente indicado. Cuando las circunstancias exigen

en la práctica el decidirse por uno de estos dos inconvenientes, suele optarse con mayor frecuencia por el primero.

Entarquinamiento de un terreno horizontal. Hechas las precedentes consideraciones generales sobre el método de desagüe continuo, y conocido el detalle del procedimiento intermitente, poco será lo que tengamos que añadir



Figs. 128 y 129.

para la aplicacion del segundo método á los casos más comunes en la práctica. Sea b', b'', b''', b^{IV} (fig. 125, pág. 509), una zona sensiblemente horizontal cuyo suelo deba levantarse por un entarquinamiento continuo. Análogamente al caso que hemos examinado anteriormente con la misma figura, se aisla el terreno por medio de una zanja ó canal de circunvalacion, y se establecen los diques de recinto y los trasversales, atendiendo á los mismos principios expuestos, y dando generalmente á los primeros una altura de 60 á 70

centímetros y de 50 á los segundos. La introduccion y trasvase de las aguas turbias y el desagüe de las clarificadas se ejecuta con sujecion á las prescripciones indicadas, vertiéndose por una ó varias aberturas practicadas en la coronacion de los diques. La parcela más próxima al canal de abastecimiento recibe la mayor parte de los depósitos, y queda por consiguiente más pronto entarquinada que las restantes; y una vez enteramente terraplenada se la aisla de las parcelas siguientes, levantando el dique $b'\ b'$. Al pié de éste, y en toda su longitud, se abre una zanja destinada á reemplazar al primitivo canal de conduccion, convirtiéndose en cabecera de zona la parcela a'. De una manera análoga se procede con las parcelas restantes hasta llegar al entarquinamiento completo de la totalidad de la zona.

Entarquinamiento de un terreno inclinado. Como la disposicion que hay que dar al terreno es la misma que la indicada para el caso análogo en el método de desagüe intermitente, bastará, para formarse una idea perfecta del procedimiento, la simple inspeccion de las figuras 128 y 129, que representan respectivamente un terreno inclinado en el sentido que indica la flecha mayor, y un perfil longitudinal segun la línea $m\ n$ de la planta.

Entarquinamiento de un terreno ondulado cualquiera. El método de desagüe continuo, aplicado en toda su generalidad, es aplicable á un terreno irregular, cualesquiera que sean su pendiente general, su relieve y su perímetro.

Supongamos que por las últimas ondulaciones de un terreno montañoso, formado por un pequeño valle, discurra un arroyuelo que durante cierto período del año lleve aguas turbias, y que se quiera aprovechar esta circunstancia para cubrir con una nueva capa de tierra una pequeña porcion de este valle, con el doble objeto de mejorar su suelo y de regularizar su superficie. Las líneas de puntos de la figura 130 representan las curvas de nivel del terreno, que supondremos espaciadas en sentido vertical de 20 centímetros, por

ejemplo: *AB* es el arroyo en su estado primitivo; las dos zanjas de derivacion *ACEGI* y *ADFHJ* forman la cacera de recinto del espacio que se desea entarquinar, las cuales podrán destinarse á suministrar un nuevo lecho al arroyuelo miéntras dure la construccion de los diques que han de represar el valle; ó bien al desagüe provisional durante la operacion, cuando el caudal sea excesivo; ó bien á la introduc-

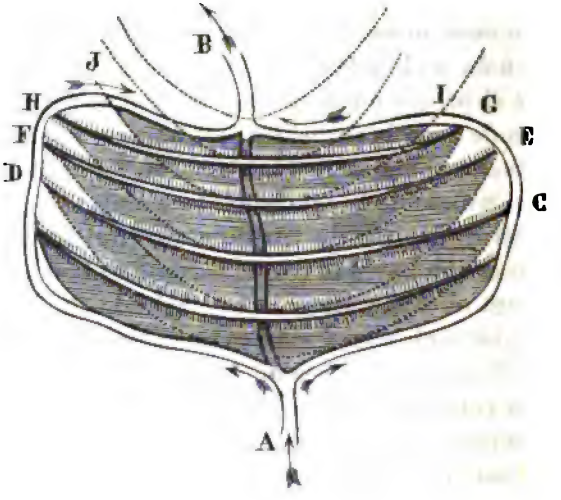


Fig. 130.

cion del agua en una cualquiera de las divisiones; ó, finalmente, á servir de caceras de riego una vez terminado el entarquinamiento. Las líneas *CD*, *EF*, *GH*, *IJ* representan los diques trasversales, cuyas coronaciones, perfectamente enrasadas de nivel, equidistan verticalmente la magnitud ántes citada. La máxima altura de estos diques corresponde á la parte más honda del valle, y va decreciendo sucesivamente hasta anularse en los extremos. El ancho, proporcional en cada uno de sus puntos á la altura respectiva, llegará naturalmente á su máximo en el punto de encuentro del dique con el lecho primitivo del arroyo. Las superficies que en la figura aparecen rayadas serán las que dejen cu-

biertas las aguas, y las que recibirán, por consiguiente, los depósitos de légamo.

La marcha de la operacion no diferirá en nada de lo que hemos expuesto para los casos anteriores. En el caso actual se ve que las aristas superiores de los diques sucesivos pueden considerarse como líneas de nivel de una nueva superficie curva arbitraria que ha de sustituir á una parte del relieve primitivo. En realidad, en lugar de dicha superficie se obtiene una serie de escalones horizontales, cuya arista saliente está formada por la cresta del dique. Supuesta de 20 centímetros la altura de estos escalones, se comprende desde luégo que será muy fácil, una vez terminado el entarquinamiento, establecer la continuidad de la superficie, y que bastará para ello igualar el suelo despues de derribados los diques.

Puede considerarse como una aplicacion abusiva de este método de entarquinamiento la que hemos visto practicada en las regiones montañosas de la provincia de Valencia, con el objeto de borrar los cauces naturales de las ramblas y barrancos, sustituyendolos por una serie de tablas escalonadas que se entregan al cultivo. Para ello se establecen de distancia en distancia diques trasversales de piedra seca, conocidos en la localidad con el nombre de *paradas*, las cuales se destinan á la formacion de un embalse que detenga los arrastres hasta el relleno completo del escalon. Fácil es adivinar cuáles sean las consecuencias de semejante propósito, llegado el momento crítico de las grandes avenidas: animadas las aguas de una velocidad proporcionada á una pendiente general considerable, y precipitándose en forma de cascada desde cada uno de los escalones, no suelen limitarse á revindicar su propio lecho, destruyendo los obstáculos que á su paso se oponen, sino que con frecuencia ocasionan con tal motivo perjuicios de consideracion á la zona ribereña.

Ventajas del método de entarquinamiento continuo. El método de entarquinamiento continuo, además de prestarse mejor que el intermitente á todas las formas

del terreno, ofrece la considerable ventaja de permitir el levantamiento del suelo con mayor rapidez, y por consiguiente de dejar terminada la operacion en un plazo mucho más breve. En efecto; empleando el método intermitente, trascurrido un plazo que raras veces baja de veinticuatro horas, hay necesidad de dar salida á toda el agua que inunda el terreno, y el volúmen de ésta no bajará, por lo general, de 5.000 metros cúbicos por hectárea, suponiendo á la capa inundante un espesor medio de 50 centímetros. Como el desagüe debe verificarse con ciertas precauciones para que el suelo no se abarranque, y hay además necesidad de introducir á continuacion una cantidad de líquido equivalente, la doble maniobra de la carga y descarga lleva necesariamente consigo una pérdida de tiempo considerable, miéntras que, empleando el método continuo, no se suspende la operacion más que por la falta de aguas turbias ó por el relleno completo de la zona.

Método de entarquinamiento por zanjas comunicantes. El Ingeniero italiano Michela, en una Memoria sobre entarquinamientos, recomienda un método que permite sacar partido del terreno durante el período más ó ménos largo que exija el completo levantamiento de su fondo. Consiste el método en dividir el terreno pantanoso en una serie de fajas de 2 á 5 metros de ancho, separadas unas de otras por medio de zanjas paralelas. Las tierras procedentes de estas zanjas sirven para terraplenar las fajas intermedias, hasta que éstas alcanzan el nivel que definitivamente quiera darse á la totalidad de la zona. Dichas zanjas comunican por sus extremos con un canal de circunvalacion, y por la red así formada se hacen circular las aguas turbias hasta obtener la igualacion completa del suelo por los sedimentos abandonados por las aguas. Miéntras la operacion del entarquinamiento sigue su curso, generalmente muy lento, pueden sacarse algunos productos de las fajas intermedias, plantando en ellas sauces, mimbreras, abedules, alisos, chopos ú otras plantas que resistan fácilmente la humedad. A nues-

REESE LIBRARY OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA

tro juicio, esas fajas podrian dedicarse preferentemente en España al cultivo del regaliz ó palo dulce, leguminosa que va tomando un gran desarrollo en las vegas del Tajo cerca de Toledo, en las cuales ha llegado á dar en estos últimos años una renta líquida de 400 rs. por hectárea. Para los detalles del cultivo del regaliz puede consultarse la monografía de dicha planta, publicada en el tomo segundo de la *Revista forestal, económica y agrícola* por nuestro buen amigo y compañero el Ingeniero jefe de montes D. José Jordana y Morera.

Los dos procedimientos generales de entarquinamiento ántes estudiados son igualmente aplicables al método de zanjas comunicantes propuesto por Michela. El intermitente no ofrecerá particularidad alguna, y para su aplicacion bastará con que se disponga de un canal para la conduccion de las aguas turbias, y de otro para el desagüe de las clarificadas, provistos ambos de las correspondientes compuertas de servicio. El entarquinamiento por renovacion continua podrá ofrecer en la práctica detalles de ejecucion que compliquen algun tanto la maniobra, y para su mejor inteligencia desenvolveremos la idea por medio de un ejemplo.

Sea $A\ B\ C\ D$ (fig. 131) un espacio rectangular dividido por una serie de zanjas paralelas que comunican directamente con los tramos correspondientes del canal de circunvalacion. Las aguas turbias entran por el punto A, y despues de distribuirse por las distintas zanjas, van á salir por el punto D, verificándose el movimiento en el sentido indicado por las flechas.

El agua del canal $A\ B$ se distribuye entre las zanjas trasversales aJ, $a'J'$, $a''J''$..... con más ó ménos uniformidad, segun su trazado y las condiciones del terreno; pero suponiendo que por cualquier motivo se manifieste en el líquido una tendencia á dirigirse á una ó á varias de las zanjas preferentemente á las restantes, se podrá obtener por tanteo una distribucion uniforme, estableciendo en las extremidades

de las zanjas unos pequeños diques a, a', a''..... J, J', J''..... que levanten hasta flor de agua, y que reduzcan la seccion de entrada y salida á los límites convenientes. Podrian establecerse en caso necesario diques análogos en c, c', c''.....; mas como por este medio se obtendrian mayores depósitos en la primera mitad de cada zanja, tal vez en este caso conviniera ejecutar por partes el entarquinamiento.

Se comprende además que, en el caso en que el terreno

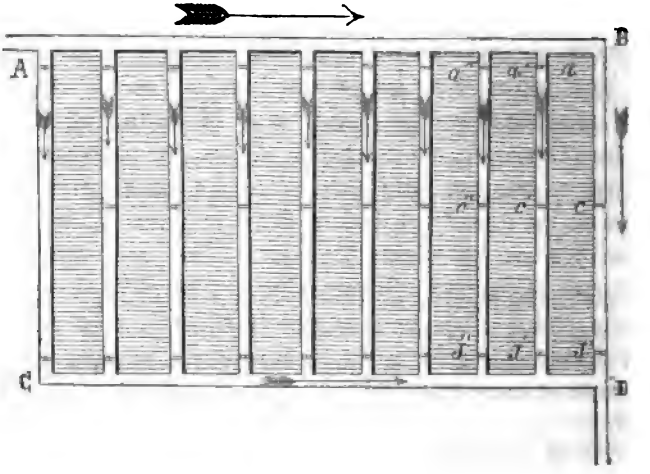


Fig. 191.

tuviera una inclinacion más ó ménos sensible, no se imposibilitaria por este motivo la operacion del relleno, bastando para el objeto aumentar en proporcion el número de los diques y arreglar por repetidos tanteos su nivel, de modo que el agua resultara uniformemente distribuida.

Coste del entarquinamiento. Los gastos que la operacion del entarquinamiento lleve consigo variarán, como es natural, entre límites muy distintos, segun las condiciones particulares de cada proyecto; sin embargo, no creyendo desprovistos de interés, como tipo de comparacion, los datos consignados por el Ingeniero francés M. Conte en el *Jour-*

nal d'Agriculture pratique de 1851, con referencia á unos terrenos pedregosos de las cercanías de Avignon, entarquinados por M. Thomas, siguiendo el método que hemos llamado continuo, los resumiremos brevemente, haciendo notar de paso que el citado propietario utilizó las aguas del canal de Crillon durante los cuatro meses del período anual en que no se hacía incompatible dicho servicio con el preferente de los riegos. La cantidad de agua destinada al entarquinamiento durante dicho período era de 300 litros por segundo, con los cuales logró cubrir una superficie de 9 hectáreas en tres años, ó de 3 hectáreas por año, con una capa de légamos de $0^m,50$ á $0^m,70$ de altura.

El coste correspondiente á una superficie de 3 hectáreas, deducido como término medio de 40 hectáreas entarquinadas, se descompone de la manera siguiente:

	Francos
Cánon por los 300 litros de agua por 1'' durante cuatro meses..	150
Privacion de cosecha durante dos años.....	300
Limpia de las zanjas.....	100
Apertura de las zanjas (1.500 m^3 á 0,30 francos).....	450
Conservacion de los diques.....	150
Preparacion del terreno para el cultivo.....	150
Total para tres hectáreas.....	1.300

ó sea 433 frs. por hectárea.

El beneficio obtenido fué de mucha consideracion, puesto que se trasformaron terrenos que se vendian á razon de 1.200 francos la hectárea en excelentes tierras laborables de un valor de 7.000 frs., las cuales pueden proporcionar siete ú ocho cosechas de trigo consecutivas, sin necesitar más abono que el que lleva el tarquin que las recubre.

Terminaremos nuestro estudio sobre entarquinamientos llamando la atencion acerca de la reseña que de los riegos del delta derecho del Ebro hacemos en el lugar oportuno del Tomo II, en la cual se pone de relieve un caso notable de

entarquinamiento de miles de hectáreas de terreno, asociando á la operacion el cultivo del arroz, el cual, al propio tiempo que sirve de medio de ejecucion, estimula poderosamente la actividad individual por los cuantiosos productos que rinde.

CAPÍTULO XXV.

DESECACION DE LAGUNAS.—APROVECHAMIENTO DE MARISMAS. CULTIVO DE LAS DUNAS.—DESALAMIENTO DE TERRENOS.

DESECACION DE LAGUNAS.

Las consideraciones hechas en los dos capítulos anteriores acerca de los medios generales de saneamiento de los terrenos excesivamente húmedos, y de los procedimientos que pueden emplearse para el levantamiento del suelo mediante la sedimentacion de los aluviones, son evidentemente aplicables en detalle á la desecacion de lagunas y de los terrenos pantanosos en general; pero no bastan para formar juicio de las operaciones necesarias para el objeto indicado en el epígrafe, mayormente cuando la zona inundada mide una superficie relativamente extensa.

Estudios preliminares. Para sentar las bases de un proyecto de esta naturaleza, aconseja el buen sentido averiguar previamente cuáles sean la procedencia y la cantidad de las aguas almacenadas. Pueden éstas proceder de la accion directa de las lluvias sobre la cuenca hidrográfica de la laguna propiamente dicha, ó de la zona pantanosa de que forma parte; de las divagaciones del cauce de una corriente natural inmediata; de haber rebasado ésta sus márgenes en los momentos de una fuerte crecida, ó finalmente, de la presencia de manantiales superficiales ó ascendentes en la misma zona desecable.

Conocida la procedencia de las aguas, convendrá determinar por aforo, y con la aproximacion posible, la cantidad que en las diversas estaciones viertan á dicha zona las corrientes naturales, así como el volúmen total suministrado por las lluvias y el correspondiente á los más fuertes aguaceros. A falta de observaciones udométricas directas, se podrá recurrir á un cálculo prudencial, comparando la cuenca hidrográfica objeto de estudio con otra más ó ménos análoga, cuya capa anual de lluvia sea conocida, completándose por medio de informaciones locales el conocimiento aproximado de las fases generales que este fenómeno meteorológico presente.

A las investigaciones relativas al orígen y cantidad de las aguas debe seguir un estudio minucioso de las condiciones físicas del terreno, prestando una atencion preferente al conocimiento de su relieve y de la naturaleza y disposicion de las capas del suelo y del subsuelo. Para lo primero habrá necesidad en algunos casos de levantar por curvas de nivel el plano de la zona, y bastará en los más el trazado de un cierto número de perfiles que permitan referir á un mismo plano de comparacion los puntos más notables del terreno. El conocimiento geológico de la zona desecable, además de suministrar útiles indicios acerca de las causas que hayan producido el estancamiento de las aguas, podrá asimismo facilitar algunos medios que permitan obtener la desecacion en condiciones más económicas.

Desagüe directo. Cuando practicada la correspondiente nivelacion se haya reconocido la posibilidad de llevar las aguas estancadas á un recipiente natural de desagüe por medio de un canal colector, cuyo trazado pueda económicamente efectuarse con un desarrollo relativamente pequeño, deberá preferirse este procedimiento directo de desecacion á todos los demás que hemos examinado al tratar de los medios generales de saneamiento. Si el desagüe se establece en un rio sujeto á fuertes cambios de nivel por efecto de las crecidas, ó en un recipiente marítimo influido por las mareas, no

ofrecerá dificultad alguna particular miéntras el nivel de las aguas estancadas se mantenga constantemente á mayor altura que la máxima de las del recipiente fluvial ó marítimo; pero en el caso contrario, habrá necesidad de recurrir á procedimientos especiales de desagüe, adoptando un sistema de esclusas, cuyo detalle expondremos al ocuparnos de la desecacion de las marismas, ó procediendo á la elevacion del agua por medios mecánicos, á la manera como se verifica en los *polders* de Holanda, ó por el sistema más moderno expuesto en el CAPÍTULO XVIII con referencia á la desecacion de las lagunas de Ferrara. Claro es que no convendrá en general recurrir al desagüe por elevacion más que en los casos en que no pueda emplearse otro medio más espontáneo, y que siempre que se pueda aprovechar para la descarga la fuerza gratuita de la gravedad, obrando como agente del movimiento de las aguas, será anti-ecenómico recurrir al empleo de una fuerza adquirida á título oneroso.

Obras de aislamiento. La desecacion de una laguna será, en igualdad de circunstancias, tanto más fácil cuanto menor sea el volúmen de las aguas estancadas. Con objeto de reducir este volúmen al que suministren las aguas zenitales y á las que procedan de la misma zona desecable, suele disponerse en la práctica un canal ó zanja de circunvalacion que recorra todo el perímetro, ó sólo la parte del mismo que domine el terreno embalsado. El desagüe de esta línea de circunvalacion se establece comunmente en un punto del trayecto recorrido por el canal colector de las aguas interiores al recinto. Determinado por los medios indicados en el capítulo anterior el máximo volúmen que el canal de circunvalacion tenga que conducir, y fijada su pendiente por las reglas que en el lugar oportuno hemos establecido, será fácil hallar la seccion que deba dársele, haciendo uso de las fórmulas consignadas en el CAPÍTULO VIII.

Canal de desagüe. El canal de desagüe, propiamente dicho, suele ser en la práctica la línea principal de una red colectora que se completa con una serie de zanjas de dife-

rentes órdenes, ramificadas entre sí y con un sistema de tajeas ó de drenes que extiendan su accion hasta los últimos límites de la zona desecable. La línea principal de desagüe se construye generalmente á cielo descubierto en toda la longitud de su curso; sin embargo, las circunstancias topográficas del terreno, ó las económicas del proyecto, podrán aconsejar la apertura subterránea de dicha línea en un trayecto más ó ménos considerable. Su seccion y su pendiente se fijarán atendiendo al desnivel disponible para el desagüe, al desarrollo mínimo posible del canal y al máximo volúmen de aguas que tenga que conducir en circunstancias extraordinarias.

Sistema mixto de desagüe y entarquinamiento. Podrá tambien obtenerse en ciertos casos la desecacion de una laguna, combinando el procedimiento de desagüe que acabamos de indicar con el levantamiento del suelo mediante la sedimentacion de los aluviones. Cuando las circunstancias permitan contar con el concurso del entarquinamiento, podrá establecerse un sistema de canales interiores que comuniquen con la línea de recinto y desagüen en el tramo inferior de ésta, despues de haber dejado depositar los arrastres en los puntos más bajos de la zona. Las fajas de terreno comprendidas en la red de esos canales interiores podrán á su vez ser desecadas ó saneadas por medio de zanjas, tajeas ó drenes, cuyo colector sea el canal interior correspondiente. Claro es que la seccion y la pendiente de esos canales se deducirán del volúmen de las aguas que el primer tramo del canal de circunvalacion tenga que conducir, y del número de derivaciones que en dicho tramo tomen orígen, así como de la cantidad de agua que tengan que recoger en el trayecto que recorran.

Casos particulares. En el caso particular en que las aguas de la laguna ó del terreno pantanoso que hemos considerado deban su orígen á la dispersion del caudal de un rio ó de un arroyo inmediato, habrá necesidad de abrir á éste un nuevo lecho, ó de defender sus márgenes, problemas

ambos de resolucion muy difícil, y para cuyo estudio pueden consultarse los tratados especiales (1).

APROVECHAMIENTO DE MARISMAS.

Preliminares. Comprenderemos con la denominacion de *marismas* los terrenos bajos y arenosos, alternativamente cubiertos y abandonados por las aguas del mar á consecuencia de la accion periódica de las mareas ó de las tempestades.

Las marismas suelen ofrecer en aguas bajas el aspecto de terrenos pantanosos y de relieve desigual, debido á los aterramientos del mismo mar, á la deposicion de plantas marinas arrancadas durante sus frecuentes períodos de convulsion, y algunas veces tambien á la resistencia que al desagüe de una corriente fluvial, cargada de légamos, oponen las aguas del mar agitadas por una fuerte tormenta ó levantadas por las mareas. Esos terrenos, que algunas veces ostentan una vegetacion vigorosa, aunque característica de los saladares, pueden ser dedicados con provecho á un cultivo agrario permanente, impidiendo el acceso de las aguas del mar, y procediendo á su desecacion y desalamiento por los medios que luégo indicaremos.

En Flandes, país clásico para el estudio del aprovechamiento de las marismas por la superficie inmensa que los terrenos arrebatados al mar comprenden, y por la cuantiosa riqueza que de su cultivo se obtiene, se designa con el nombre de *schoore* á la marisma que no ha sido aún defendida contra los efectos de la marea invasora, y con el de *polder*, á la que se halla protegida por medio de diques ó malecones. La zona de las marismas ocupa en España una extension muy vasta, principalmente en el litoral cantábrico y en las

(1) Véase Dupuit.—Etudes théoriques et pratiques sur le mouvement des eaux courantes, suivies de considérations relatives au régime des grandes eaux, au débouché à leur donner, et à la marche des alluvions dans les rivières à fond mobile.—París 1863.

playas oceánicas andaluzas; y prueba que el interés individual ha reconocido ya las inmensas ventajas que de su explotacion pueden esperarse, el número considerable de concesiones hechas por el Gobierno en estos últimos años á empresas particulares que han solicitado su aprovechamiento.

Dificultades técnicas de un proyecto de aprovechamiento de marismas. Las dificultades técnicas de un proyecto de aprovechamiento de marismas pueden resumirse en las que entraña la resolucion de los tres problemas siguientes:

1.° Dado un terreno superior á las bajas mareas, é inferior á la pleamar de marea viva de equinoccio, cerrar el paso á las aguas, de modo que se eviten las inundaciones correspondientes á cada flujo ó invasion de la marea.

2.° Impedir que viertan á esos terrenos, no susceptibles de un desagüe continuo en el mar, las aguas pluviales que caigan en la totalidad de la cuenca hidrográfica respectiva.

3.° Aislados esos terrenos del mar, de los arroyos y de los rios, hallar los medios de dar salida á las aguas que en ellos se reunan por la accion directa de las lluvias sobre su superficie, ó por la de los manantiales que en los mismos nazcan.

Defensa de la marisma contra la invasion de la marea.—Diques de tierra. Para la resolucion del primer problema ocurre desde luégo la necesidad de construir un dique que impida la inundacion de la marisma por el flujo de la marea. El dique ó malecon destinado á este objeto suele hacerse de tierra, y para su trazado se elige en lo posible la línea ménos profunda, con el fin de reducir el coste de construccion al mínimo que las condiciones del proyecto permitan. Las dimensiones del dique deberán naturalmente ajustarse á las resistencias que tenga que vencer, y á las condiciones del material que lo constituya. En las concesiones que en España ha hecho el Gobierno se suele fijar como

altura del dique la de un metro por encima del nivel de las mareas más altas.

Para que la accion del oleaje no los destruya, suele darse á los diques de tierra un talud muy tendido. Los límites extremos para el ancho de la coronacion son de 2 á 5 metros, y los taludes varian desde 2 á 11 de base por uno de altura. El talud de 2 de base por uno de altura lo hemos visto aprobado para un proyecto de cerramiento de una marisma de la costa cantábrica española, y el de 11 de base por uno de altura lo aplicó el coronel Emy al establecimiento de un dique de tierra para la defensa de la playa de San Juan de Luz. Claro es que para un mismo ancho en la coronacion, el espesor del dique aumentará con la suavidad del talud, y que para fijar los espesores habrá que tener en cuenta las presiones interior y exterior, y la fuerza viva de que las aguas puedan hallarse animadas.

No podemos entrar en detalles acerca de la naturaleza y condiciones de resistencia de los diques cuando tengan que oponerse á la accion de la fuerza viva de las aguas de un mar tempestuoso. Para este caso especial, y para otros análogos, puede consultarse la obra del coronel Emy, *Du mouvement des ondes et des travaux hydrauliques maritimes* y el *Tratado de construcciones en el mar* del Ingeniero de Caminos español D. Pedro Perez de la Sala.

Limitándonos por lo tanto á los casos más sencillos relativos á la construccion de los malecones de tierra, añadiremos algunos detalles importantes acerca de su cerramiento.

Cerramiento del dique. Es sabido que las tierras francas no resisten á la accion erosiva correspondiente á una velocidad de $0^m,80$ por segundo; de consiguiente, una vez cerrada una porcion de la marisma, las erosiones se dejan sentir con tanta mayor energía en la cabeza del dique aún no terminado, cuanto menor es el ancho de la seccion mojada que queda sin defensa. Para evitar esta corrosion podria establecerse un armazon de madera ó de palastro que defendiese la cabeza del terraplen, y fuese adelantando al

mismo tiempo que la obra; pero aparte de que el manejo de este armazon sería sumamente difícil y costoso, no por eso disminuiria la dificultad de dejar el malecon terminado. En efecto, desde el momento en que la velocidad de las aguas excediese del límite de un metro por segundo, empezaria á notarse una corrosion violenta en el fondo, formado, en general, por terrenos movedizos, convirtiéndose al fin en un profundo cauce imposible de rellenar á causa de la velocidad de la corriente.

En el problema del cerramiento de una marisma de cierta importancia entra, por lo tanto, como condicion obligada la de interrumpir el movimiento de las aguas por un corto espacio de tiempo, menor que el que emplea la marea en su flujo y reflujo, y claro es que esta condicion no puede satisfacerse haciendo uso como material de construccion de la tierra ó de la fábrica.

El mejor medio consiste en construir con materiales de fácil manejo y de poco coste un dique provisional que interrumpa por el tiempo necesario todo movimiento de aguas en la marisma. Para ello puede establecerse (figs. 132, 133, 134 y 135) una sólida valla de madera, afirmada por armaduras de gran base que se sujetan previamente al fondo para que, una vez interceptada la comunicacion, puedan contrarestar el empuje de la marea. Estas armaduras podrán ser de dos clases: unas que llamaremos *de junta* y otras *intermedias*. Las primeras (figs. 132 y 134) están constituidas por una solera, á la que se sujeta á escuadra un fuerte pié derecho por medio de dos tornapuntas: se colocan á la distancia de 4 metros unas de otras, y el pié derecho tiene abiertas lateralmente unas ranuras destinadas á alojar la cabeza de los tablones de valla. Las armaduras de la segunda clase son análogas á las de junta, y sólo difieren de éstas en que el pié derecho está partido longitudinalmente en dos mitades para facilitar la introduccion de los tablones.

Estas armaduras se colocan á unos 10 metros de la línea en que se proyecte el dique, y una vez sujetas las soleras

por medio de estacas en la forma indicada en la figura, se procede al ensayo de la resistencia á la presion en sentido horizontal, cargando convenientemente la solera á fin de que resista á la accion del resbalamiento y á la del giro al-

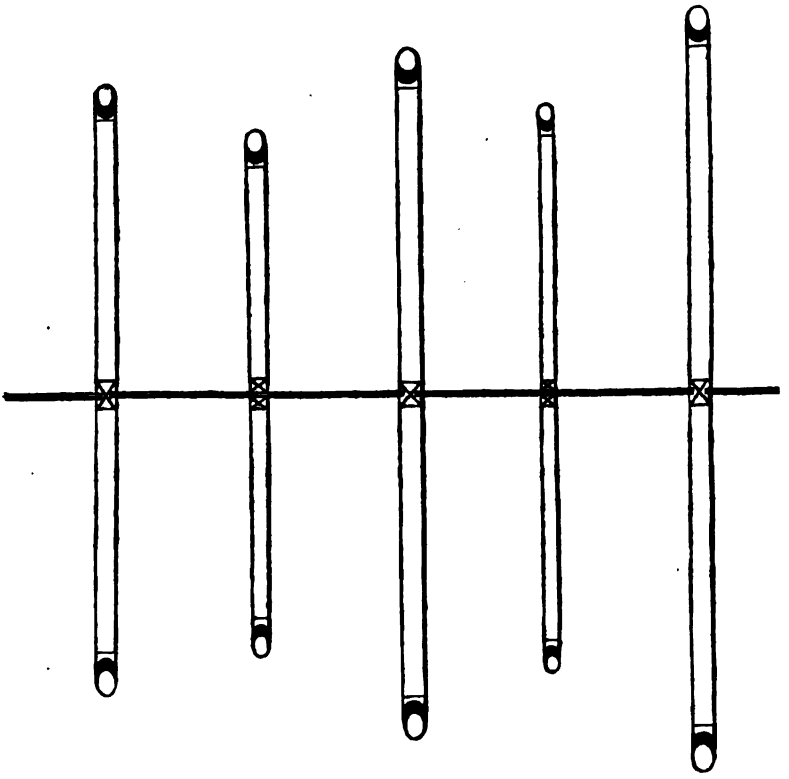


Fig. 132.—Proyeccion horizontal de la valla. Escala de 0,01.

rededor de una arista, por un esfuerzo equivalente al empuje de las aguas.

Con el objeto de obtener la menor presion posible contra la valla, puede verificarse el cerramiento provisional de la marisma entre las mareas alta y baja. Por este medio se consigue que la carga del agua contra la valla no sea nunca

mayor que la mitad de la carga máxima, debida á la altura de la pleamar. Para reducir en lo posible el coste de la valla puede construirse ántes parte del dique en la porcion en que el agua tome poca altura.

Interrumpida la corriente, se procura activar por todos los medios posibles el término definitivo de la obra de cerramiento.

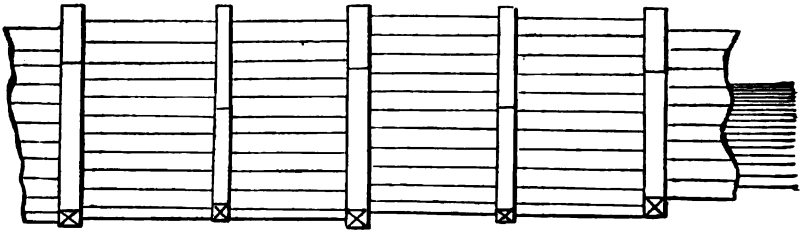


Fig. 133.—Alzado de la valla. Escala de 0,01.

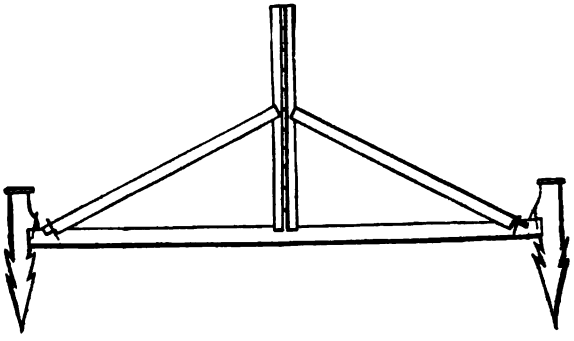


Fig. 134.—Armadura intermedia. Escala de $\frac{1}{100}$.

Aislamiento de la marisma. Defendido el terreno contra la accion invasora de la marea, procede la resolucion del segundo problema ántes enunciado. Esta se consigue estableciendo un canal de circunvalacion que recoja las aguas de todos los arroyos á una altura superior á la de pleamar, y las conduzca por la orilla de la marisma á una línea natural que desagüe en un punto de nivel superior al de las mareas vivas más altas.

La tierra procedente de la apertura del canal de circunvalacion podrá emplearse en la construccion del dique.

Desecacion de la marisma. Para la resolucion del tercer problema hay que recoger las aguas procedentes de las lluvias y las que por cualquier concepto tomen orígen en la misma marisma, y darles luégo salida para dejar convenientemente saneado el terreno.

Desde luégo se comprende que estas aguas no pueden verterse más que al mar, y sólo durante el tiempo en que el nivel de éste sea inferior al de las aguas interiores. Para

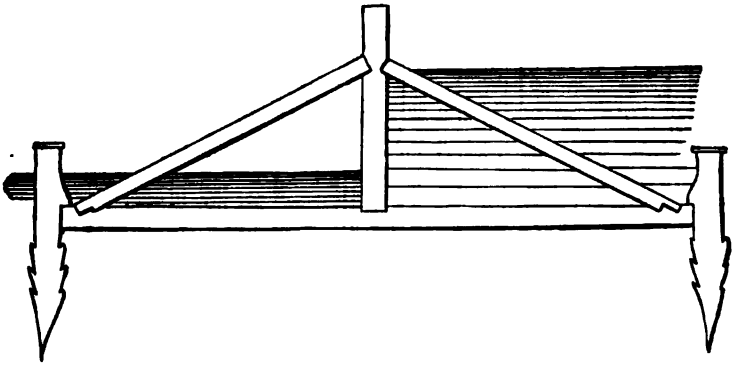


Fig. 135.—Armadura de junta. Escala de 0,01.

ello pueden almacenarse en el punto más bajo de la marisma las aguas procedentes de las lluvias y las que suministren los canales interiores y las zanjas, tajeas ó drenes que como medio de saneamiento se hayan adoptado para dejar el terreno en disposicion de poder recibir los beneficios del cultivo.

Las aguas del indicado depósito tendrán salida al mar durante la marea baja por medio de unas tajeas que atraviesen el dique y se hallen provistas de un sistema de válvulas que, abriéndose de dentro afuera, impidan la entrada de las aguas exteriores al ascender la marea y faciliten el desagüe de las interiores, cuando la presion que éstas ejercen sobre la cara correspondiente de la válvula exceda á la que reciba la cara opuesta.

Las figuras 136, 137, 138 y 139 representan respectivamente la planta, el alzado y los cortes longitudinal y tras-

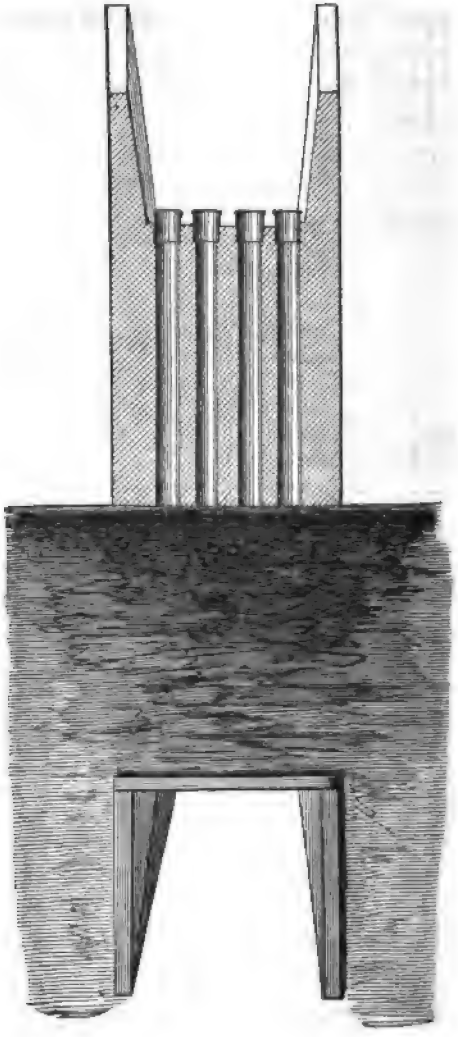


Fig. 136.—Proyeccion horizontal del dique. Escala de $\frac{1}{200}$.

versal de las tajeas de desagüe de una marisma, segun el sistema que hemos indicado, y las figuras 140, 141 y 142

dan suficiente idea de la disposicion que puede darse á la válvula. En la figura 136, que representa la proyeccion ho-

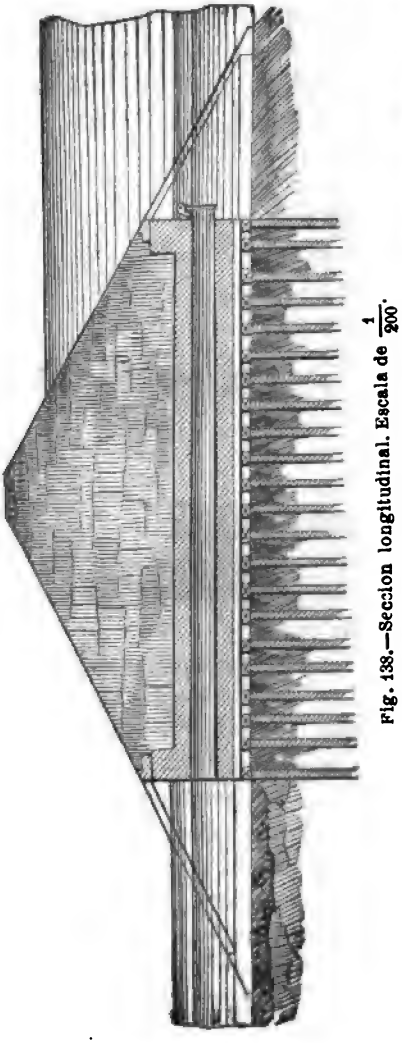


Fig. 138.—Seccion longitudinal. Escala de $\frac{1}{200}$.

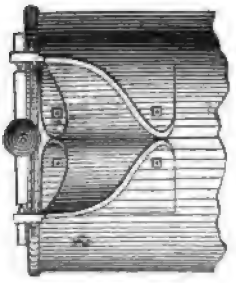


Fig. 140.—Proyeccion horizontal de la válvula. Escala de $\frac{1}{20}$.

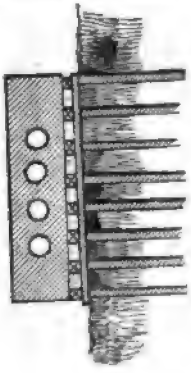


Fig. 139.—Seccion trasversal. Escala de $\frac{1}{200}$.

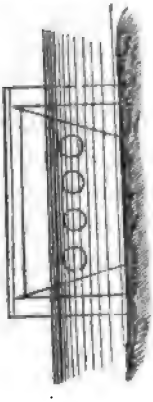


Fig. 137.—Alzado. Escala de $\frac{1}{200}$.

rizontal del dique, hemos supuesto un corte á la altura de las cañerías, hasta llegar á la parte media del terraplen.

Se comprende que en ciertos casos, por la falta de desagüe natural, haya necesidad de recurrir á la elevacion de las aguas por medios mecánicos, y claro es que éstos habrán de variar, como en otra ocasion hemos demostrado, con la importancia de los volúmenes de agua que sea preciso extraer y con la altura á que deban éstos ser elevados. Ya dijimos en el capítulo en que tratamos de los motores, que el

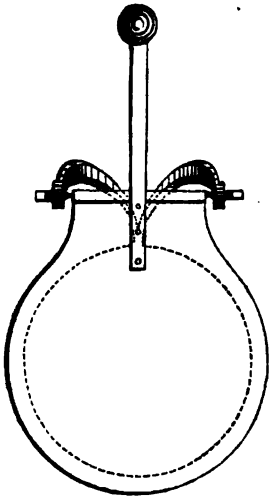


Fig. 141.—Alzado de la válvula.
Escala de $\frac{1}{20}$.

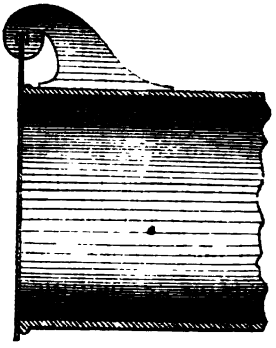


Fig. 142.—Seccion longitudinal.
Escala de $\frac{1}{20}$.

empleo del viento como fuerza motriz, además de proporcionar la ejecucion de un trabajo en condiciones económicas, no ofrecia inconveniente alguno por sus intermitencias, aplicada á las operaciones de agotamiento, puesto que para el efecto producido carecia de importancia la falta de regularidad del motor.

CULTIVO DE LAS DUNAS.

Por la importancia que indudablemente tiene para la explotacion de ciertos arenales el cultivo llamado *de navazos*

en Andalucía, y por ser el procedimiento peculiar y exclusivo de una parte de aquella costa oceánica, vamos á exponerlo en detalle, trascribiendo íntegro el artículo que sobre la materia publicó en el tomo segundo de la *Revista forestal, económica y agrícola* nuestro amigo y compañero el Ingeniero jefe de montes D. Salvador Ceron y Martinez.

Dice así el artículo citado:

»Desde la desembocadura del Guadalquivir hasta Rota, tocando en Bonanza, Sanlúcar y Chipiona, se extiende á lo largo de la costa una zona de terreno de unos dos y medio kilómetros de anchura, compuesto en su mayor parte de arenas voladoras de grano sumamente fino, que por su poca cohesion son arrastradas con frecuencia por los vientos fuertes, y forman pequeños cerros aislados, llamados *algaidas* ó *méganos*, y modernamente *dunas*.

»Dicho terreno, aunque interrumpido por la arcilla azulada y la caliza fosilífera, debe en general su orígen á los depósitos postpliocenos acarreados por el Guadalquivir. Su mayor desarrollo corresponde á la zona lateral de unos tres kilómetros de longitud, que se extiende desde el castillo del Espíritu-Santo hasta el puerto de Bonanza. En este espacio de tierra hubo de formarse en otro tiempo una cordillera de méganos que, puesta en activo movimiento por el violento impulso de los vientos del O., amenazaban sepultar todo el barrio bajo de la ciudad, como ya habia sucedido con una calle entera. Considerábase el mal como irremediable por haber sido infructuosas cuantas medidas se habian adoptado para atajarlo, cuando un hecho casual dió á conocer un medio sencillo é indirecto, no sólo para sujetar de una manera sólida y permanente aquellas arenas voladoras, sino tambien para convertir aquel terreno tan estéril en fértiles huertas, que reciben en el país el nombre de *navazos*. He aquí cómo se logró tan rápida y singular trasformacion:

»En el año de 1742 la miseria producida por la falta de lluvias y la escasez de trabajo sugirió á varios braceros del campo la idea de poner en cultivo los méganos de la costa,

con objeto de obtener algunos frutos con que sustentar pudieran á sus necesitadas familias. Abrieron á este fin algunos hoyos en medio de los cerros de arena, profundizaron la excavacion de la superficie elegida hasta medio metro sobre el nivel del agua subterránea, y formaron alrededor de la misma, con la tierra extraida, unos vallados muy altos. Cultivaron despues el terreno así dispuesto, y con gran asombro de todos se obtuvieron resultados altamente satisfactorios, fundamento del cultivo por medio de *navazos*, que desde entónces adquirió gran desarrollo.

»El procedimiento que en dicho cultivo se emplea es el siguiente: despues de formar una profunda planicie, cerrada y resguardada por el vallado construido en las mismas arenas extraidas, se abre por la parte inferior de éste, y todo alrededor de la planicie, una zanja, cuya profundidad llega hasta el mismo nivel del agua subterránea, y á veces algunas otras que atraviesan la planicie, para que por ellas puedan correr, tanto las aguas propias, ó sean las que allí mismo se originan, como las que proceden de las lluvias. Estas aguas corren y convergen hacia un centro comun, que consiste en un pozo de obra de fábrica, del que sale con la conveniente inclinacion una cañería de barro que las vierte en el mar, atravesando aquellos arenales á la profundidad de siete metros que tienen de elevacion algunos cerros. Lo más comun es dejar las zanjas al descubierto: pero á veces se rellenan de cascajo ó piedras angulosas á fin de que el agua corra entre los intersticios que entre ellas quedan.

»A pesar de la delicadeza y cuidado que exigen estas operaciones, bástanles á los llamados *navaceros* los conocimientos que les proporciona una larga práctica para formar su posesion ó huerta. Abierta la caja del navazo, lo primero que tiene que hacerse es asegurar las arenas sueltas del vallado para que no se derrumben hacia aquella, obstruyan las zanjas y levanten de nuevo el nivel del suelo. Al efecto, plantan en toda la parte exterior de aquel, hasta su cima, vides y frutales (albérchigos, ciruelos, melocotoneros, etc.),

y ponen por la parte inferior cañas y pitas, dispuestas ordenadamente en filas paralelas. De este modo, no sólo se consigue la fijacion de las arenas, sino tambien una gran cantidad de variados y excelentes frutos.

»Despues de ejecutadas estas operaciones preventivas, se procede al cultivo de la superficie interior del navazo, cultivo que varía forzosamente segun la naturaleza del terreno y demás condiciones de aquél. Segun estas condiciones, pueden dividirse los navazos en tres clases. La primera comprende aquellos que participan del flujo y reflujo del mar, y que por esto se llaman *de marea;* la segunda abraza los que no disfrutan de dicha influencia, pero que tienen desagüe al mar; y la tercera consta de los que no ofrecen ninguna de estas dos circunstancias.

»Los navazos de marea son los de mayor valor y estima, porque en ellos el agua del mar, filtrada y dulcificada por las arenas del fondo, sube periódicamente, y cada doce horas, con corta diferencia, á humedecer las raíces de las plantas; circunstancia sumamente favorable, sobre todo durante los calores del estío, merced á la cual se crian y obtienen frutos que no son propios de esta estacion. Para conseguir este resultado es necesario tener en cuenta el nivel superior á que alcanzan las mareas, á fin de rebajar la superficie del suelo sólo hasta un punto tal, que durante la pleamar quede bañada la porcion de las raíces que se crea conveniente, sin que por ser excesiva pueda la humedad perjudicar á las plantas.

»En los navazos de segunda clase el nivel de las aguas subterráneas sólo sufre las variaciones accidentales, debidas á la influencia de las estaciones. Por la altura de dicho nivel se regula tambien el que ha de darse á la superficie del navazo. Tanto en éstos como en los de marea las aguas llovedizas son recogidas en las zanjas hasta que su nivel no dista más que 20 centímetros de la superficie del terreno, siendo árbitros los hortelanos de regular el desagüe, abriendo ó cerrando convenientemente los conductos destinados al efecto.

»Por último, los navazos de tercera clase, por carecer de desagüe, se inundan durante el invierno, y sólo pueden aprovecharse en el verano, cuando por efecto de la evaporacion producida quedan secos y en disposicion de recibir los beneficios del cultivo. En algunos casos se aprovechan ventajosamente las aguas que bajan de la poblacion durante las lluvias otoñales, pues, arrastrando gran cantidad de restos orgánicos en descomposicion, proporcionan á las tierras un excelente abono.

»El cultivo de los navazos da principio en Abril ó Mayo, segun las condiciones de la estacion. La primera operacion consiste en una cava general y profunda, por medio de la cual se remueve bien la tierra y se mezcla cuidadosamente con el estiércol, en avanzado estado de descomposicion, que se echa en la proporcion de una carga de 66 kilógramos por cada tres metros y medio de superficie. Debe procurarse que la labor alcance hasta dos tercios de la profundidad del suelo, y que la parte inferior humedecida pase á la superior.

»Preparado así el terreno, se procede á la siembra ó colocacion de las hortalizas, entre las cuales se escogen aquellas variedades propias de la estacion. Con este motivo se da una nueva labor al suelo sin añadir abono alguno, pues basta para todo el año el que al principio se puso, exceptuando, sin embargo, las plantas que los hortelanos llaman *matas* (sandías, melones, calabazas, etc.), á cada una de las cuales hay que echar una pequeña espuerta de estiércol bien descompuesto.

»Es muy comun obtener durante el año dos cosechas: una de verano y otoño, y otra de invierno y primavera, proporcionando cada cual tres frutos distintos. Al efecto se ponen cada vez en la tierra tres especies de plantas, cuya vegetacion sea de una actividad diversa y gradual; de modo que cuando la primera llegue á la madurez, se encuentre la segunda bastante desarrollada, y cuando ésta dé fruto haya adquirido mucho crecimiento la tercera. Las plantas que con preferencia se escogen son: el maíz, patata, lechuga, gui-

santes, cebollas, tomates, coles, calabazas, melones, sandías, etc.

»El desarrollo de estas plantas se verifica con una actividad sin igual. La frescura del terreno, áun en verano, permite obtener frutos como el guisante, propio, como es sabido, de la primavera; miéntras que en el invierno, por efecto del calor, de los abonos y del abrigo de los navazos se cosechan tomates. No son ménos notables los frutos que se obtienen por su considerable tamaño, su exquisito sabor y demás cualidades. El maíz llega á medir tres metros y medio de altura desde el suelo hasta la extremidad superior de la flor; hay coles de once kilógramos y medio de peso, sandías de veinte, y calabazas que pasan de cuarenta y cinco. Se comprende, por lo tanto, la pingüe ganancia que proporciona este cultivo. Una superficie de un cuarto de hectárea, ó sea de veinticinco áreas de hoyo de navazo, cultivada de la manera que llevamos dicho, mantiene á una familia y da ocupacion á dos jornaleros.

»Los vecinos de Chipiona y Rota, estimulados por el ejemplo de los sanluqueños, y deseosos de obtener los mismos beneficios, abrieron tambien navazos en las arenas con éxito igualmente lisonjero. El producto de las cosechas es tan abundante, que no sólo abastece á dichas poblaciones, sino tambien á un gran número de barcos que salen constantemente cargados de dichos frutos para Sevilla, Cádiz y puertos de su bahía.

»A medida que iba tomando incremento el cultivo de los navazos notaron los sanluqueños con agradable sorpresa que habia cesado por completo el arrastre de las arenas, y que no era ya de temer el terrible azote que tanto les molestaba y que tantos daños habia causado en el caserío en otros tiempos, aquel puñado de hombres oscuros que, apremiados por la necesidad, concibieron el pensamiento de esta clase de cultivo y lo llevaron á cabo con fe y perseverancia, estaban muy léjos de pensar en los trascendentales beneficios que iba á proporcionar al país, y así como el alquimista Brandt,

pretendiendo hallar la piedra filosofal, encontró el fósforo, más útil todavía que el oro, así descubieron aquellos el modo de fijar segura y permanentemente las arenas voladoras, resultado mucho más provechoso que el del rendimiento de las cosechas.

»Resuelto el problema, la empresa fué adquiriendo diariamente cada vez más vastas proporciones. El municipio de Sanlúcar y algunos celosos propietarios, despues de deliberar detenidamente sobre el particular, acordaron imitar el ejemplo de los primeros navaceros, aunque por distintos medios, sembrando con piñon del pino piñonero *(pinus pinea)* los extensos arenales que se hallan á la márgen izquierda del Guadalquivir, desde cerca de Bonanza, y á continuacion de los navazos, hasta el término de Trebugena. Fué tan oportuna la época elegida para confiar al terreno la semilla, y tan favorable el año, que los resultados excedieron á toda esperanza. Pasan de mil quinientas hectáreas de arenales, estériles en otro tiempo, las que hoy dia se hallan cubiertas de pino, con monte bajo de lentiscos, labiérnagos y otros arbustos, y vestidas de plantas herbáceas, útiles para el pasto de los ganados, que proporcionan pingües rendimientos é inmensos beneficios, tanto por su produccion en especie y en metálico, como por la fijacion de las incoherentes arenas.»

DESALAMIENTO DE TERRENOS.

Terrenos salados. La presencia en el suelo de una cantidad excesiva de cloruros sódico, potásico, cálcico y magnésico, de nitratos y sulfatos de las mismas bases, y, en general, de todas aquellas sustancias que por su naturaleza y cantidad caracterizan á los terrenos *salados*, imprime á la vegetacion espontánea una fisonomía especial, propia de las plantas halófilas, que sólo puede modificarse removiendo la causa que la determina, ó lo que es lo mismo, procediendo directa ó indirectamente á la operacion del *desalamiento*.

La naturaleza salobre de los terrenos puede depender de haber sido recientemente cubiertos por las aguas del mar, de la accion subterránea de éstas, auxiliada por los fenómenos de la capilaridad, ó de la constitucion geológica del mismo terreno, acaso debida á una inmersion submarina en un período anterior á los tiempos históricos.

Procedimiento ordinario de desalamiento. Cualquiera que sea la causa del fenómeno, el procedimiento directo y ordinario de desalamiento de un terreno consiste en el lavado con aguas dulces, empleando uno cualquiera de los métodos de riego oportunamente expuestos. Sin embargo, la submersion completa del terreno, seguida de la evacuacion del agua, y esta operacion muchas veces repetida, constituyen el método más generalmente adoptado lo mismo en España que en los países extranjeros.

En realidad, el éxito de la operacion depende ménos del procedimiento puesto en práctica que de la naturaleza del terreno sobre que se opera. Si el terreno no es salado más que en su superficie ó en una capa de corto espesor, el método de submersion, frecuentemente aplicado, determinará en un período más ó ménos breve su desalamiento completo. Si el carácter indicado afecta al subsuelo, y el terreno es permeable, el riego superficial podrá por algun tiempo dejar libre de la sustancia salina á la capa superior del suelo; pero reaparecerá dicha sustancia á la superficie por el ascenso de las aguas subterráneas, favorecido por la accion de la capilaridad; en este caso habrá necesidad de recurrir periódicamente al lavado, y tal puede ser el orígen de las aguas saladas que del subsuelo asciendan á la superficie, que no haya medio alguno de obtener un éxito completo y definitivo.

Procedimientos extraordinarios. El estudio de las causas determinantes del fenómeno y el de las condiciones especiales del terreno, podrán en ciertos casos sugerir la idea de procedimientos extraordinarios; por ejemplo: si un terreno permeable contiene en uno de sus estratos una capa de agua dulce alimentada por las filtraciones de una cuenca

subterránea suficientemente extensa, podrá combinarse el riego superficial con el desagüe subterráneo por medio de zanjas que lleguen hasta la profundidad de la capa acuífera, ó en otros términos, haciendo que las aguas de submersion que se hayan cargado de sales al atravesar las capas salobres del terreno puedan encontrar fácil salida mezcladas con las de la capa dulce por medio de las zanjas que al efecto se hayan abierto.

Método de desalamiento generalmente adoptado en España. El procedimiento ordinario de submersion suele combinarse en España con el entarquinamiento, por cuyo medio se obtiene un sedimento de légamos al mismo tiempo que las aguas torrenciales, más ó ménos clarificadas, abandonan el terreno llevando una gran cantidad de sales disueltas. Las prácticas establecidas en nuestras provincias suelen revestir el carácter que les imprimen las circunstancias locales: en los terrenos esteparios de Lorca se aprovechan al objeto indicado las aguas torrenciales del Guadalentin, introduciéndolas en los campos por todos los medios que la premura de las circunstancias permite; y de la misma manera se procede en las vegas salobres de la cuenca del Jalon, en la cual designan al aprovechamiento con el calificativo *de correntías*. Junto á la desembocadura del rio Ter tiene establecido nuestro amigo el inteligente propietario catalan D. Alberto de Quintana un buen entendido sistema de diques y compuertas para la inundacion y oportuno desagüe de una finca de suelo arenoso y de naturaleza salobre, aprovechando las avenidas torrenciales del citado rio. Las sustancias arcillosas depositadas por las aguas turbias facilitan al suelo un alimento mineralógico de que se halla poco provisto; las sustancias orgánicas que á aquellas acompañan suministran abono abundante y gratuito, y el desagüe se lleva las sales que por su exceso perjudican al cultivo.

Desalamiento simultaneado con el cultivo del arroz. En la desembocadura de algunos rios, y con especialidad en ciertos deltas cenagosos, puede combinarse el

desalamiento con el levantamiento del suelo, sirviendo de estímulo para la trasformacion y mejoramiento del terreno los cuantiosos rendimientos que proporcionan los arrozales. Puede servir de ejemplo el caso que en otra ocasion hemos citado con referencia al delta derecho del Ebro.

Método indirecto de desalamiento. Un medio indirecto de desalar los terrenos consiste en mezclar con las tierras saladas una proporcion conveniente de abonos orgánicos, con el fin de neutralizar el exceso de las sustancias salinas; se comprende, sin embargo, con facilidad que este procedimiento, que podríamos llamar *químico*, sólo es aplicable en pequeña escala, y en el caso en que los productos inmediatos de un cultivo intenso puedan compensar el sacrificio que dicho procedimiento exija.

FIN DEL TOMO PRIMERO

OBRAS CONSULTADAS

Alcover (*D. José*).—La Industria en 1874.—Madrid, 1875.

Anónimo.—Académie des Sciences de Paris.—Comptes rendus hebdomadaires.—París, 1835, 1876.

Anónimo.— Direccion general de Obras Públicas.—Memorias sobre las obras públicas de España desde 1864 á 1872.— Aguas: 4 vol.— Madrid, Imprenta Nacional.

Anónimo.—Memorias sobre las aguas potables y de riego de Jerez de la Frontera (folleto).—Jerez, 1862.

Anónimo.—Revista científica del Ministerio de Fomento: 1862 á 1865.— Madrid.

Anónimo.—Revista de Obras Públicas y coleccion de Memorias y documentos: 1854, 1877.—Madrid.

Anónimo.—Ecole Impériale des Ponts et Chaussées. — Collection de dessins distribués aux elèves. (Canal d'irrigation de Carpentras: 9 e série, section B, Pl. 1, 2, 3 et 4.)— París, 1862.

Anónimo.—Aforos practicados en las cuencas de los rios Ebro, Duero, Guadiana, Guadalquivir y Tajo, por las cinco divisiones hidrológicas, durante el año 1880.—Madrid, 1881.

Anónimo.—La cuestion del pantano. Artículos publicados en *El Graduador* (folleto).—Alicante, 1877.

Anónimo.—Aforos practicados en las cuencas de los rios Ebro, Guadalquivir, Guadiana, Tajo y Duero, durante el año 1881.—Madrid, 1883.

Anónimo.—Canal para el riego de los arrozales de Valencia y Alfafar con las aguas del rio Turia (folleto).—Valencia, 1858.

Anónimo.—Itinerarios del rio Ebro y de todos sus afluentes.—Direccion general de Obras Públicas.—Madrid, 1882.

Anónimo.—Reglamento provisional para el régimen de los riegos del Canal de Urgel (folleto).—Barcelona, 1868.

Anónimo.—Itinerario del rio Guadiana y de todos sus afluentes.—Direccion general de Obras Públicas.—Madrid, 1882.

Anónimo.—Les primes d'honneur, les prix culturaux, les médailles de spé-

cialités et les prix d'honneur des fermes-écoles décernés dans les concours règionaux en 1870. (Irrigations dans les Pyrénées orientales, pag. 737 et suivantes).—Paris, 1874.

Anónimo.—Estatutos, constitucion y reglamento de la Sociedad exploradora de Pozos artesianos (folleto).—Alicante, 1879.

Anónimo.—Reglamento para el sindicato de riegos de la huerta de Alicante, aprobado por S. M. en 24 de Enero de 1865 (folleto).—Alicante, 1865.

Alexander, Mendel and Davidson.—Irrigation in California.—Report of the board of commissioners.—Washington, 1874.

Aymard (Maurice).—Irrigations du midi de l'Espagne: text. et atlas.—París, 1864.

Azaïs.—Une grande expérience ou le puits de Grenelle; son histoire, ses accidents, ses importantes révélations: cinquième édition, suivie d'un appel philosophique à la génération actuelle.—París, 1841.

Balaguer y Primo (D. Francisco).—Monografías industriales: Riego por medio de norias, bombas y otras máquinas.—Madrid, 1873.

Barral (J. A.).—Irrigations, engrais liquides et améliorations foncières permanentes.—París, 1862.

Barral (J. A.).—Drainage des terres arables, seconde édition.—París, 1856, 1863.

Barral (J. A.).—Les irrigations du département de Vaucluse.—Rapport sur le concours ouvert en 1876 et 1877 pour le meilleur emploi des eaux d'irrigation: dos tomos.—París, 1877-78.

Barral (J. A.).—Irrigations dans le département des Bouches de Rhône.—Rapport sur le concours ouvert en 1875 pour le meilleur emploi des eaux d'irrigation: dos tomos.—París, 1876.

Belando y Melendez.—El rio Segura y la huerta de Murcia.—Estudio sobre las causas de escasez de aguas, medios de remediarlas y reforma de riegos y ordenanzas (folleto).—Murcia, 1878.

Bentabol y Martinez.—Legislacion de aguas.—Madrid, 1879.

Belgrand.—La Seine, études hydrologiques, régime de la pluie, des sources, des eaux courantes: text. et atlas.—París, 1872-78.

Belgrand.—Etudes hydrologiques sur le bassin de la Seine entre la limite des terrains jurassiques et Paris (Annales des ponts et chaussées). París, 1852.

Belgrand.—Hydrologie du bassin de la Seine (Annales des ponts et chaussées).—París, 1852.

Bélidor.—Architecture hydraulique.—París, 1737, 1753.

Bergnes de las Casas (D. Teodoro).—Memoria sobre el canal de Sobrarbe. Madrid, 1866.

Borrull (D. Francisco Javier).—Tratado de la distribucion de las aguas del rio Turia.—Valencia, 1837.

Bouvier (*M.*).—La Fontaine de Vaucluse.—Association française pour l'avancement des sciences.—Congrés de Montpellier (folleto).—París, 1879.

Bosch y Juliá (*D. Miguel*).—Memoria sobre la inundacion del Júcar en 1864.—Madrid, 1866.

Botella (*D. Federico de*).—Descripcion geológico-minera de las provincias de Murcia y Albacete.—Madrid, 1868.

Brown (*John Crumbie*).—Water supply of South-Africa and facilities for the storage of it.—Edinburgh, 1877.

Brown (*J. C.*).—Hydrology of South-Africa.—London, 1875.

Buckley.—The irrigation works of India and their financial results.—London, 1880.

Carrié (*l'abbé*).—Hydroscopographie et Metalloscopographie ou l'art de découvrir les eaux souterraines et les gissements métallifères, au moyen de l'électro-magnétisme.—Poitiers, 1863.

Cavanilles (*D. Antonio Josef*).—Observaciones sobre la historia natural, geografía, agricultura, poblacion y frutos del reino de Valencia: dos vol.—Madrid, 1797.

Collignon (*E.*).—Hydraulique.—París, 1880.

Colombani.—Manuale pratico di idrometria.—Milano, 1861.

Cotard (*Charles*).—L'aménagement des eaux (folleto).—París, 1881.

Comoy.—Considérations sur l'endiguement des rivières.—París, 1861.

Cortázar (*D. Daniel*).—Descripcion física, geológica y agrológica de la provincia de Cuenca.—Madrid, 1875.

Charpentier de Cossigny (*J.*).—Notions élémentaires théoriques et pratiques sur les irrigations.—París, 1874.

Chauveau des Roches.—Des divers appareils servant à élever l'eau par MM. Chauveau des Roches, Belin et Vigreux, Ingénieurs civils.—París, 1878.

Chizzolini.—Della ricerca ed utilizzazione della acque di sorgenti.—Milano, 1879.

Degousée (*M. J.*).—Guide du sondeur, ou traité théorique et pratique des sondages: text. et atlas.—París, 1847.

Donaire (*D. Felipe Martin*).—Descripcion física y geológica de la provincia de Avila.—Madrid, 1879.

Dumas.—La science des fontaines.—París, 1857.

Dünkelberg.—Der Wiesenbau in seinen landwirthschaftlichen und technischen Grundzügen. Zweite Auflage.—Braunschweig, 1877.

Dünkelberg (*W. A.*).—De la création des prairies irriguées.—Corbeil, 1869.

Duponchel (*A.*).—Traité d'Hydraulique et Géologie agricole.—París, 1868.

Dupuit (*J.*).—Etudes théoriques et pratiques sur le mouvement des eaux courantes, suivies de considérations relatives au régime des gran-

des eaux, au débouché à leur donner et à la marche des alluvions dans les rivières à fond mobile: seconde édition.—París, 1863.

Dupuit (*J.*).—Traité théorique et pratique de la conduite et de la distribution des eaux: seconde édition; text et atlas.—París, 1851.

Estrada (*D. Francisco*).—Reseña histórica sobre las aguas con que se riega la huerta de Alicante.—Alicante, 1860.

García Otero (*D. José*).—Reconocimiento del rio Guadalquivir entre Córdoba y Sevilla verificado en los años de 1842 y 1844 por órdenes del Ministerio de la Gobernacion de la Península, con arreglo á las instrucciones que en su cumplimiento expidió la Direccion general de Caminos, Canales y Puertos.—Madrid, 1847.

Gil Maestre.—Descripcion física, geológica y minera de la provincia de Salamanca.—Madrid, 1880.

Gwynne (*John and Henry, Engineers*).—Catologue of centrifugal pumps, pumping engines and other machinery (folleto).—London, 1874.

Hagen.—Handbuch der Wasserbaukunst: 10 vol. y atlas.—Berlin, 1864, 1880.

Hall (*William*).—Drainage, mining detritus and irrigation in California. Sacramento, 1880.

Hérisson (*Albert*).—Les irrigations de la vallée du Pô.—París, 1883.

Hervé-Mangon.—Etudes sur le drainage au point de vue pratique et administratif.—París, 1853.

Hervé-Mangon.—Expériences sur l'emploi des eaux dans les irrigations sous différents climats.—París, 1863.

Hidalgo Tablada.—Manual de riegos.—Madrid, 1861.

Hirsch.—Sur le déversoir de Mittersheim et le déversoir-syphon. Annales des ponts et chaussées.—París, 1869.

Humber (*William*).—A comprehensive treatise of the water supply of cities and towns.—London, 1876.

Inchaurrandieta (*D. Rogelio*).—Aplicaciones de la geología á la práctica del Ingeniero de Caminos.—Madrid, 1869.

Inchaurrandieta y otros Ingenieros.—Sifones del canal de Isabel II.—Revista de Obras Públicas, coleccion de Memorias y documentos.

Jaubert de Passa.—Voyage en Espagne dans les années 1816, 1817, 1818, 1819, ou recherches sur les arrosages, sur les lois et coutumes qui les régissent, sur les lois domaniales et municipales, considérés comme un puissant moyen d'amméliorer l'agriculture française, précédé du rapport fait à la Societé Royale et centrale d'Agriculture: orné de six cartes.—París, 1823.

Keelhöf (*J.*).—Traité pratique de l'irrigation des prairies.—Bruxelles 1856.

Kopp.—Anleitung zur Drainage.—Frauenfeld, 1865.

Kubel und Tiemann.—Anleitung zur Untersuchung von Wasser, welches

zu gewerblichen und häuslichen Zwecken, oder als Trinkwasser benützt werden soll.—Braunschweig, 1877.

Laffineur (*Jules*).—Guide pratique de l'ingénieur agricole hydraulique.—Desséchements, drainage, irrigations, etc. París, 1874.

Lauter.—Behandlung der Wässerwiesen.—Karlsruhe, 1851.

Leclerc.—Traité de drainage: 3e édition.—Bruxelles, 1870.

Mac-Pherson (*J.*).—Bosquejo geológico de la provincia de Cádiz.—Cádiz, 1872.

Madoz (*D. Pascual*).—Diccionario geográfico-estadístico-histórico de España y sus posesiones de Ultramar: 16 vol.—Madrid, 1845, 1850.

Mallada.—Descripcion física y geológica de la provincia de Huesca.—Madrid, 1878.

Martinez (*D. Basilio*).—La cuestion del pantano de Alicante (folleto).—Alicante, 1877.

Mancha (*D. Rafael de*).—Memoria sobre los riegos de la huerta de Murcia.—1836.

Mesa (*D. Pedro Antonio de*).—Junta general de Estadística.—Reconocimiento hidrológico del valle del Guadalquivir.—Madrid, 1864.

Mesa (*D. Pedro Antonio de*).—Junta general de Estadística.—Reconocimiento hidrológico del valle del Ebro.—Madrid, 1865.

Midy (*J.*).—Le drainage et l'irrigation.—París, 1853.

Morton.—A cyclopedia of agriculture practical and scientific: 2 vol.—London, 1876.

Musso y Fontes (*J.*).—Historia de los riegos de Lorca, de los rios Castril y Guardal, ó del canal de Murcia y de los Ojos de Archivel.—Murcia, 1847.

Nadault de Buffon.—Cours d'agriculture et d'hydraulique agricole, comprenant les principes généraux de l'économie rurale et les divers travaux d'amélioration du régime des eaux dans l'intêret de l'agriculture, tels que curages, élargissements, redressements, endiguements, desséchements des marais et terres inondées, assainissements des terrains humides et déteriorés par des filtrations, drainage, irrigations, limonages: 3 vol.—París, 1853, 1858.

Nadault de Buffon.—Hydraulique agricole.—Applications.—Des canaux d'irrigation de l'Italie septentrionale, envisagés sous les divers points de vue de la science hydraulique, de la production agricole et de la législation: 2 vol. et atlas.—París, 1861-62.

Page (*D. Eusebio*).—Canal de Urgel: Su pasado, su presente y su porvenir.—Artículos publicados en el periódico *El Campo* de Abril á Junio de 1880.—Madrid, 1880.

Palau.—Ley de Aguas de 13 de Junio de 1879, con comentarios, referencias y notas críticas.—Barcelona, 1879.

Paramelle (*l'abbé*).—L'art de découvrir les sources.—París, 1859.

Pareto (*Raphael*).—Irrigation et assainissement des terres (Manuels-Roret).—París, 1851.

Pascual (*D. Agustin*).—Memoria sobre los productos de la agricultura española, reunidos en la Exposicion general de 1857.—Madrid, 1859, 1861.

Pascual (*D. Agustin*).—Reseñas geográfica, geológica y agrícola de España, redactada por D. Francisco Coello, D. Francisco de Luxan y D. Agustin Pascual.—Madrid, 1859.

Perels.—Handbuch des landwirthschaftlichen Wasserbaus.—Berlin, 1877.

Picard.—Alimentation du canal de la Marne au Rhin et du canal de l'Est: 1 tomo y atlas.—París, 1880.

Poillon.—Installation du service d'eaux municipal de Nijni Novgorod.—París, 1879.

Ribera (*D. Juan de*).—Memoria sobre el riego de los campos de Madrid. Madrid, 1866.

Riera y Parera (*D. Mariano*).—Manual de canales de riego, que comprende su trazado, construccion y legislacion.—Madrid, 1871.

Ronna (*A.*).—Egouts et irrigations.—París, 1867.

Royo (*D. Mariano*).—Cartas sobre riegos, por un aficionado: segunda edicion.—Zaragoza, 1878.

Ruiz Moscardó.—Estudio sobre la inundacion de Lorca en el dia 14 de Octubre de 1879 (folleto).—Lorca, 1879.

Thós y Codina.—El agua en la tierra.—Barcelona, 1878.

Saint-Claire.—Mémoire sur la constitution géologique, hydrologique et agronomique de l'arrondissement de Louviers et du bassin de l'Eure.—Annales des ponts et chaussés.—París, 1857.

Sástago (*Conde de*).—Descripcion de los canales Imperial de Aragon y Real de Tauste.—Zaragoza, 1796.

Scott-Moncrieff (*C. C.*).—Irrigation in Southern Europe: being the report of a tour of inspection of the irrigation works of France and Italy, undertaken in 1867-68 for the Government of India. With an Appendix.—London, 1868.

Stephens (*Henry*).—Guide du draineur ou traité pratique sur l'assèchement des terres, traduit par A. Faure.—París, 1850.

Vallés (*M. J.*).—Etudes sur les inondations.—París, 1857.

Vianne (*Ed.*).—Prairies et plantes fourragères.—París, 1870.

Vigan.—Etude sur les irrigations des Pyrénées orientales et en particulier sur un phénomène, dit de la reproduction des eaux observé dans le valleé de la Tet.—París, 1877.

Vignotti (*A.*).—Des irrigations du Piémont et de la Lombardie (folleto).—París, 1863.

Vilanova y Piera (*D. Juan*).—Ensayo de descripcion geognóstica de la

provincia de Teruel, en sus relaciones con la agricultura de la misma.—Madrid, 1863.

Vilanova y Piera (*D. Juan*).—Memoria geognóstico-agrícola de la provincia de Castellon. (Tomo IV de la coleccion de la Real Academia de Ciencias de Madrid).

Vilanova y Piera (*D. Juan*).—Teoría y práctica de pozos artesianos y arte de alumbrar aguas.—Madrid, 1880.

Villeroy (*J.*) et *Muller* (*Adam*). Manuel des irrigations.—París, 1867.

Viollet (*J. B.*).—Théorie des puits artésiens, suivie d'une instruction pratique très étendue sur les moyens d'utiliser ces puits dans les arts et dans l'agriculture.—París, 1840.

Wiebeking (*Carl-Friedrich*). — Theoretisch-practische Wasserbaukunst: 3 vol. y atlas.—München, 1811, 1814.

Willkomm (*Dr. Moritz*).—Die Strand und Steppengebiete der iberischen Halbinsel und deren Vegetation.—Leipzig, 1852.

ÍNDICE DEL TOMO PRIMERO

Páginas

AL LECTOR..... VII

INTRODUCCION.

RESEÑA HISTÓRICA DE LOS RIEGOS DE ESPAÑA..... 1

CONSIDERACIONES ECOMÓMICAS SOBRE LAS EMPRESAS DE RIEGOS Y MEDIOS QUE PUEDEN EMPLEARSE PARA SU FOMENTO..... 7

Preliminares.—Division de los negocios de riegos.—El Estado empresario de riegos.—Empresas particulares.—Empresas subvencionadas.—Dificultades que se oponen al desarrollo de los aprovechamientos de aguas.—Lentitud en el desarrollo del cultivo y sus causas.—Defectos de que suelen adolecer las empresas de riegos.—Influencia de las trabas administrativas en el desarrollo de los riegos.—Crédito agrícola.—Bancos agrícolas.—Medios que por la Administracion pueden emplearse para el fomento de los riegos.

AGUAS Y RIEGOS.

PRIMERA PARTE.

PRELIMINARES.

CAPÍTULO I.—IMPORTANCIA GENERAL DEL RIEGO.—CLIMA DE ESPAÑA..... 21

Importancia general del riego.—Datos que pueden suministrar indicaciones acerca de su medida.—Necesidad del riego artificial por efecto del clima.

Indicaciones generales acerca de los climas de España.—Observaciones meteorológicas verificadas en España durante el decenio de 1865 á 1874.—Cantidad de agua perdida por evaporacion en Madrid durante el decenio de 1860 á 1869, y en Murcia de 1862 á 1867, y consecuencias que con aplicacion al riego pueden deducirse de su exámen.

Páginas

CAPÍTULO II.—Naturaleza del agua de riego y su influencia en la vegetacion y en el cultivo..... 29

Consideraciones generales acerca de la influencia que el agua pura ejerce en la vida de las plantas.—Sustancias minerales que con más frecuencia se encuentran disueltas en el agua.—Cuadro de análisis de las aguas de algunos rios.—Importancia que para el cultivo pueden tener algunas sustancias disueltas en el agua.—Elementos químicos que deben considerarse como principios nutritivos esenciales de las plantas.—Gases disueltos en el agua y su accion sobre el organismo vegetal.—Aguas turbias.—Cuadro demostrativo de las relaciones ponderales del légamo encontrado en las aguas de varios rios.—Datos relativos á los rios de España.—Importancia del légamo como abono.—Defectos de las aguas naturales y medios de corregirlos.—Aguas saladas y salitrosas.—Aguas selenitosas.—Aguas ácidas.—Aguas incrustantes.—Aguas pantanosas.

CAPÍTULO III.—Cantidad de agua necesaria para el riego. 43

Cantidad de agua necesaria para el riego y variables de que su determinacion depende.—Consideraciones generales acerca de la importancia relativa de estas variables.—Formas de representacion del volúmen necesario para el riego de una hectárea de terreno.—Divergencia de opiniones entre los autores más acreditados, y causas de la misma.—Experiencias hechas por el autor, en las inmediaciones de Barcelona, en una huerta sometida á un cultivo de intensidad máxima.—Consumo de agua en las principales zonas agrícolas de España.—Vegas del Ter, Besós, Llobregat, Ebro, Turia, Júcar, Segura y Guadalquivir.—Número y duracion de los riegos, segun los cultivos.—Arroz.—Trigo.—Maíz.—Panizo.—Judías.—Cacahuete.—Alfalfa.—Zanahorias y otras plantas forrajeras anuales.—Cáñamo.—Naranjo.—Prados naturales.—Vid y olivo.

CAPÍTULO IV.—Precio del agua..... 57

Determinacion del precio del agua necesaria para el riego de una hectárea de terreno.—Bases del criterio que debe guiar á la empresa y á los regantes para la determinacion del cánon de riego, expuestas por medio del estudio de un caso concreto.—Precio á que se paga el agua de riego en distintas zonas agrícolas de España.—Precio del agua como fuerza para el movimiento de artefactos y estudio de los

Páginas

elementos que lo determinan.—Precio del agua como fuerza en algunas localidades de España.—Ligeras consideraciones sobre la naturaleza del cánon de riego y sobre la duracion más conveniente de los contratos entre las empresas de riegos y los usuarios.

CAPÍTULO V.—Movimiento y conduccion de las aguas.—Aforo de las corrientes naturales..... 70

Gasto de un líquido que sale por un orificio.—Gasto teórico.—Gasto práctico.—Contraccion completa é incompleta.—Valores del coeficiente de contraccion.—Tubos adicionales.—Analogía entre estos y las boqueras de riego.—Tubos de conduccion.—Resultados prácticos relativos al movimiento del agua por cañerías.—Aforo de las corrientes naturales.—Procedimientos más expeditos para el aforo de los manantiales y arroyos.—Aforo de los arroyuelos por medio de vertederos —Aforo por medio de canalizos.—Aforo de los rios.—Rheómetros ó aparatos destinados á la medicion de la velocidad del agua.—Cálculo de la seccion mojada y deduccion del gasto.

CAPÍTULO VI.—Distribucion del agua.—Sistema distributivo fundado en la proporcionalidad..... 83

Bases de todo sistema distributivo de aguas de riego.—Bases del criterio para la eleccion del mejor sistema distributivo.—Sistema distributivo fundado en la proporcionalidad, aplicable al caso en que el agua y la tierra constituyen una propiedad única.—Carácter distintivo de este sistema distributivo.—Período de abundancia de aguas.—Tandeo para el estiaje ordinario.—Tandeo para un período de sequía excepcional.—Cómo se corrigen los inconvenientes de la arbitrariedad administrativa en la práctica del sistema.—Aplicacion del mismo sistema distributivo á los riegos de orígen antiguo, en que el agua y la tierra constituyen propiedades independientes.—Criterio aplicable por las modernas empresas de riegos.—Medios materiales de distribucion proporcional.—Partidores.—Su teoría y uso.—Partidor de Elche.—Partidor de Lorca.

CAPÍTULO VII.—Distribucion de las aguas por volúmenes fijos..... 95

Distribucion de las aguas por volúmenes fijos.—Módulos.—Condiciones generales de un buen módulo.—Módulo milanés.—Módulo de Ribera.—Inconvenientes del módulo

Páginas

de Ribera y medios de corregirlos.—Módulo adoptado en el canal del Henares.—Distribucion del agua entre los regantes por el sistema de volúmenes fijos.—Modo de efectuarlo con los módulos usados.—Unidad de medida para la distribucion de las aguas de riego.—Unidades usadas en el extranjero.—Onza ó pulgada milanesa.—Pulgada de fontanero francesa.—Pulgada de Prony.—Unidades de medida usadas en distintas localidades de España.—*Real fontanero* de Madrid.—*Pluma* barcelonesa.—*Pluma* de Mataró.—*Fila* valenciana, *hila* de Lorca y Murcia, *hilo* de los pantanos de Tibi y Elche.—*Muela* del canal Imperial de Aragon.—*Azada*, *real y paja* en la cuenca del Guadalhorce.

SEGUNDA PARTE.

MEDIOS DE PROCURARSE EL AGUA DE RIEGO.

CAPÍTULO VIII.—Canales.—Preliminares..... 117

Partes constituivas de un proyecto completo de canal de riego.—Objeto de cada una.—Pendiente de los canales.—Velocidad media del agua determinada por las fórmulas de Prony y Eytelwein, Tadini, Darcy, Bazin y Kutter.—Seccion de los canales.—Relacion entre sus elementos.—Modificaciones que puede experimentar la seccion.—Curvas.—Pérdidas de agua por evaporacion y filtracion.

CAPÍTULO IX.—Canales.—Estudios sobre el terreno.—Proyectos..... 135

Reconocimientos.—Situacion de la presa y condiciones generales á que debe satisfacer.—Operaciones previas al trazado del eje del canal.—Perfiles provisionales y definitivos.—Trazado de las curvas sobre el terreno.—Rasantes.—Desmontes y terraplenes.—Banquetas, bermas y cunetas.—Ideas generales sobre las diferentes partes del sistema de riegos por medio de canales.—Toma de aguas.—Bocal.—Canal de conduccion.—Canales secundarios ó de derivacion.—Acequias y brazales.—Canales de descarga y almenaras de desagüe.—Azarbes.—Observaciones.

CAPÍTULO X.—Canales.—Obras de arte..... 148

Presas.—Generalidades.—Forma y direccion de la pre-

Páginas

sa.—Altura.—Perfil trasversal. —Construccion de la presa y materiales empleados en la misma.—Muros de contencion y canales de fábrica.—Revestimientos.—Paso del canal á través de una corriente de agua.—Puentes acueductos.—Sifones.—Cálculo del desnivel para los sifones tubulares de hierro.—Espesor de los tubos.—Cálculo de la resistencia de estos.—Obras complementarias en los sifones.—Sifones del Lozoya.—Sifones de fábrica.—Alcantarillas, tajeas, pontones y puentes de paso.—Túneles.—Dificultad de conservar las bóvedas sin revestimiento en los túneles.—Modo de construccion.—Construccion de los túneles en terrenos de poca consistencia.—Dificultades relativas á los agotamientos.—Coste de los túneles.

CAPÍTULO XI.—Depósitos ó pantanos artificiales..... 176

Exposicion del sistema.—Su importancia general.—Ventajas especiales de su aplicacion á las zonas agrícolas de España.—Capacidad de los pantanos.—Determinacion de la capacidad cuando las aguas de alimentacion son abundantes.—Pantanos destinados al embalse de las aguas de lluvia y de los pequeños manantiales.—Aforo de los manantiales.—Aforo de las aguas de lluvia que pueden recogerse en el embalse.—Pérdidas de agua por evaporacion y filtracion en el depósito.—Ventajas relativas de los grandes y pequeños pantanos.—Condiciones generales de un buen emplazamiento del embalse.

CAPÍTULO XII.—Construccion de los pantanos..... 186

Pantanos cerrados por medio de diques de tierra.—Pantanos situados en terrenos de poca pendiente.—Pantanos establecidos en los repliegues naturales del terreno.—Forma, dimensiones y construccion de los diques de tierra.—Toma de aguas.—Sistema de desagüe usado en los pantanos de riego de Italia.—Aliviaderos.

Pantanos cerrados por medio de diques de fábrica.—Division de los diques de embalse segun que viertan el agua por la coronacion ó lateralmente.—Cimentacion de los diques de cerramiento de los grandes pantanos.—Causas de la destruccion del célebre pantano de Lorca.—Formas que pueden adoptarse para el perfil de los diques.—Determinacion de la altura del dique dada la capacidad del pantano.—Desagüe de los pantanos.—Sistemas de desagüe principalmente usados en España.

Páginas

CAPÍTULO XIII.—Pantanos de España..... 196

Pantanos de España.—Pantano de Tibi.—Su situacion y objeto.—Dimensiones, perfil y traza del dique.—Disposicion de la toma de aguas —Galería de limpia ó desarenador.—Cerramiento del pantano.—Maniobra de la limpia y fenómenos que en la misma se producen.—Pantano de Elche.—Disposicion especial adoptada para el cierre.—Pantanos de Lorca.—Pantano de Níjar.—Pantano de Huesca.—Pantano de Almansa.—Pantanos de las provincias de Logroño y Navarra.—Pantanos de Cataluña.—Pantanos más notables recientemente proyectados en varios puntos de España.

CAPÍTULO XIV.—Alumbramientos.—Nociones de hidrografía subterránea..... 214

Orígen de los manantiales.—Hipótesis más notables con las que se ha pretendido explicar la formacion de los manantiales.—Modo de formarse los manantiales.—Division de los manantiales.—Régimen de las corrientes subterráneas de superficie libre.—Salida de las corrientes al exterior.

CAPÍTULO XV.—Investigacion y alumbramiento de las aguas subterráneas 226

Objeto de la Hidroscopia.—Sus relaciones con la Geología.—Partes en que puede dividirse su estudio.

Condiciones generales de los terrenos bajo el punto de vista de la existencia de manantiales.—Terrenos eruptivos.—Terrenos metamórficos.—Terrenos sedimentarios.—Areniscas y arenas.—Caracteres generales de permeabilidad de la roca caliza.—Toba caliza.—Caliza celular, tubular, cavernosa, etcétera.—Carácter distintivo de los manantiales que se producen en estas rocas.—Fuentes de los terrenos cretáceo y jurásico.—Fuente de Vaucluse.—Fuentes notables de los terrenos cretáceo y jurásico de España.

Líneas que siguen las corrientes subterráneas.—Nociones generales.—Principio fundamental de la teoría de Paramelle.—Carácter de excesiva generalidad que su autor le atribuye.—Exámen de los casos más sencillos y frecuentes de corrientes subterráneas encauzadas.

Puntos más favorables para el descubrimiento de las aguas subterráneas.—Puntos del terreno en que las aguas corren á menor profundidad.—Manantiales de las montañas.—Condiciones necesarias para la existencia de manantiales en las mesetas y laderas.—Manantiales de las laderas.—

Páginas

Relaciones entre estos y la disposicion especial de los estratos.—Exámen de las combinaciones estratigráficas más frecuentes.

Profundidad de los manantiales en el punto elegido para su alumbramiento.—Profundidad de los manantiales encauzados.—Profundidad de los manantiales que se forman en las mesetas y en las laderas.

Volúmen de los manantiales.—Indeterminacion del problema que tiene por objeto dar reglas generales para fijar *a priori* el volúmen de los manantiales.—Cuenca-tipo citada por el abate Paramelle.—Comparacion entre ésta y la cuenca de la fuente de Vaucluse.

Juicio crítico de las reglas propuestas desde la antigüedad más remota para la investigacion de las aguas ocultas.—Indicios de humedad.—Varilla adivinatoria.—Zahoríes.

Alumbramientos.—Diferentes sistemas.—Sistema de presas.—Sistema de galerías y pozos.—Alumbramiento de aguas en Lombardía.—Produccion artificial de manantiales.—Riegos de Mecina de Buenvaron en la provincia de Granada.

CAPÍTULO XVI.—POZOS ARTESIANOS 265

Preliminares.—Régimen de las corrientes forzadas.—Influencia de las estaciones en el régimen de los pozos artesianos, y discusion de las teorías del Ingeniero M. Dupuit.—Influencia del diámetro de los tubos en el gasto de los pozos artesianos.—Accion recíproca entre pozos próximos.—Emplazamiento del pozo.—Gasto por segundo de un pozo artesiano á diferentes alturas de derrame.—Ley de Darcy.—Fórmula de Michal.

Métodos de sondeo.—Division de los métodos.—Método ordinario ó de sonda rígida.—Descripcion de la sonda.—Maniobra.—Entubacion del taladro.—Método chino ó de varilla y cuerda.—Método de sonda hueca.—Perforacion del pozo de Passy por el método de Kind.

Pozos artesianos de España.—Pozos de Madrid, Albacete, Cartagena, Murcia, Alcalá de Chisvert, Valencia, del Realengo, Alicante, de los Angeles, de Alcoy, Málaga, Cataluña y Vitoria.

Localidades de España que, en concepto de algunos geólogos, reunen condiciones favorables para el alumbramiento de aguas artesianas.

Páginas

CAPÍTULO XVII.—Elevación de las aguas por medios mecánicos 316

Motores.—Motores de sangre.—Empleo de la fuerza muscular del hombre.—Idem de la de algunos animales domésticos.—Motores inanimados.—Molinos de viento.—Sus ventajas é inconvenientes.—Molinos de viento perfeccionados de más frecuente uso en España.—Motores hidráulicos.—Ruedas inferiores de paletas planas.—Ruedas de costado.—Ruedas superiores.—Rueda de Poncelet.—Ruedas colgadas.—Turbinas.—Motores de vapor.—Máquinas de vapor locomóviles.—Máquina de vapor tipo Corliss reformado.

CAPÍTULO XVIII.—Máquinas para elevar el agua..... 336

Cubos.—Cigoñales.—Achicador ordinario.—Achicador holandés.—Rueda de paletas.—Azudas ó ruedas de cajones ó de cangilones.—Azudas usadas en el Ebro y en el Guadalquivir.—Tímpano.—Tornillo de Arquímedes.—Rosario hidráulico.—Noria árabe.—Su importancia en España.—Efecto útil de la noria árabe.—Noria Pfeiffer.—Detalles económicos relativos á la misma.—Modelo del Rio y sus precios.—Modelo Cases.—Bombas.—Su division.—Bombas ordinarias de movimiento rectilíneo alternativo.—Bombas de vapor de accion directa.—Bombas centrífugas.—Bomba Gwynne.—Aplicacion de estas bombas al saneamiento de las lagunas de Ferrara.—Bombas rotatorias de un solo eje.—Bombas rotatorias de dos ejes.—Pulsadores y pulsómetros.—Pozos Norton ó instantáneos.—Determinacion del precio del agua elevada por medios mecánicos.

TERCERA PARTE.

RIEGOS PROPIAMENTE DICHOS.

CAPÍTULO XIX.—Riego de los terrenos laborables..... 395

Riego de los terrenos laborables.—Métodos empleados.—Distribucion de las aguas y fraccionamiento del terreno.—Ejecucion material del riego.—Riego de los cereales.—Idem de las judías.—Idem de los cañamares, lino, patatas, alfalfa y cacahuete.—Cultivo del cacahuete.—Obtencion del aceite de cacahuete.—Riego de los naranjos.—Datos sobre el cultivo del naranjo en la Ribera del Júcar.—Idem de las plan-

Páginas

taciones de caña dulce.—Extension del cultivo de la caña dulce en el Mediodía de España.—Industria azucarera en el Mediodía de España.—Arrozales.—Preparacion y entretenimiento de las almácigas.—Plantacion.—Produccion de los arrozales.—Cultivos asociados al del arroz.—Agua necesaria.—Insalubridad del cultivo del arroz, tal como se practica en la ribera del Júcar, y medios de evitarla.—Variedades de arroz de riego intermitente.

CAPÍTULO XX.—PRADOS.—NOCIONES PRELIMINARES 432

Acepcion genérica de la palabra prado.—Division de los prados.—Prados naturales.—Prados artificiales.—Prados de secano y de regadío.—Importancia del cultivo pratense y necesidad de su regeneracion en España.—Plantas útiles, indiferentes y nocivas á los prados.—Catálogo de plantas útiles.—Idem de las inútiles y dañinas.

CAPÍTULO XXI.—RIEGO DE LOS PRADOS.—IDEAS GENERALES.. 449

Carácter del riego segun las estaciones.—Riegos de invierno.—Riegos de verano.—Agotamiento de las propiedades fertilizantes de las aguas de riego.—Influencia de la pendiente del terreno en los efectos del riego.—Efectos del riego durante las heladas.—*Marcitas* ó prados de invierno en Lombardía.—Cantidad de agua necesaria para el riego de los prados.—Régimen de los rios de España bajo el punto de vista de la aplicacion de sus aguas al cultivo pratense.

CAPÍTULO XXII.—DIFERENTES MÉTODOS USADOS EN EL RIEGO DE LOS PRADOS..... 463

Indicaciones generales y division de los métodos.—Primer método; por regueras de nivel.—Exposicion del método y distribucion de las aguas.—Desagüe de la pradera.—Segundo método; por regueras inclinadas.—Sus ventajas é inconvenientes.—Tercero, por caballetes.—Cuarto, por planos inclinados sucesivos.—Quinto, por submersion.—Sexto, por infiltracion.

CUARTA PARTE.

MEJORAMIENTOS.

CAPÍTULO XXIII.—SANEAMIENTOS..... 479

Nociones generales.—Distintos casos de terrenos excesivamente húmedos.—Division de los métodos generales de saneamiento.—Primer método; por pozos absorbentes.—Ex-

Páginas

posicion y discusion del método.—Segundo; por zanjas abiertas.—Sus inconvenientes.—Tercero; por tajeas cubiertas.—Diferentes procedimientos de desagüe y sus ventajas relativas.—Cuarto; drenaje.—Ideas generales.—Su importancia relativa en España.—Consideraciones históricas acerca de su orígen y desarrollo.—Exposicion del método.—Partes que comprende.—Apertura de las zanjas.—Forma de la seccion.—Profundidad.—Pendiente.—Direccion.—Distancias.—Tubos de drenaje.—Calibre de los tubos.—Velocidad del agua en las cañerías.—Cálculo del desagüe por hectárea en la unidad de tiempo.—Colocacion de los tubos y relleno de las zanjas.—Presupuesto de gastos.—Ventajas del drenaje.

CAPÍTULO XXIV.—ENTARQUINAMIENTO 501

Nociones preliminares.—Toma de aguas.—Canal de conduccion.—Desagüe de los terrenos entarquinados.—Entarquinamiento intermitente.—Entarquinamiento continuo.—Entarquinamiento de un terreno horizontal.—Idem de un terreno inclinado.—Idem de un terreno ondulado cualquiera.—Ventajas del método de entarquinamiento continuo.—Entarquinamiento por medio de zanjas comunicantes.—Coste del entarquinamiento.

CAPÍTULO XXV.—DESECACION DE LAGUNAS.—APROVECHAMIENTO DE MARISMAS.—CULTIVO DE LAS DUNAS ANDALUZAS POR MEDIO DE NAVAZOS.—DESALAMIENTO DE TERRENOS..... 523

Desecacion de lagunas.—Estudios preliminares para la formacion del proyecto.—Desagüe directo.—Obras exteriores de aislamiento.—Canal interior de desagüe.—Sistema mixto de desagüe y entarquinamiento.—Casos particulares.

Aprovechamiento de marismas.—Preliminares.—Dificultades técnicas de un proyecto de aprovechamiento de marismas.—Defensa de la marisma contra la invasion de la marea.—Diques de tierra.—Cerramiento del dique y medios qne para ello pueden emplearse.—Canal de circunvalacion.—Desagüe y saneamiento de la marisma.

Cultivo de las dunas por medio de navazos.

Desalamiento.—Terrenos salados.—Procedimientos ordinarios de desalamiento.—Procedimientos extraordinarios.—Desalamiento y entarquinamiento simultáneos y asociados al cultivo del arroz.—Métodos indirectos de desalamiento.

UNIVERSITY OF CALIFORNIA LIBRARY
BERKELEY

Return to desk from which borrowed.
This book is DUE on the last date stamped below.

5Dec'51WK

Dec12'51LU

DEC 4 1982

REC. CIR. NOV 11 '82

LD 21-95m-11,'50(2877s16)476

YC 13342

TC887
.S
W1
37282